Aus dem Institut für Rechtsmedizin
der Universität Würzburg
Direktor: Professor Dr. med. W. Schwerd

MIKROSPEKTRALPHOTOMETRISCHE MESSUNGEN AN TEXTIL-FASERSPUREN IM DURCHLICHT

INAUGURAL - DISSERTATION

verfaßt und der
Hohen Medizinischen Fakultät
der
Julius-Maximilians-Universität Würzburg
zur
Erlangung der medizinischen Doktorwürde

vorgelegt von
Christian Hoffmann
aus Neustadt / Waldnaab

Würzburg, den 4. 2. 1980

Aus dem Institut für Rechtsmedizin
der Universität Würzburg
Direktor: Professor Dr. med. W. Schwerd

MIKROSPEKTRALPHOTOMETRISCHE MESSUNGEN AN TEXTIL-FASERSPUREN IM DURCHLICHT

INAUGURAL - DISSERTATION

verfaßt und der
Hohen Medizinischen Fakultät
der
Julius-Maximilians-Universität Würzburg
zur
Erlangung der medizinischen Doktorwürde

vorgelegt von
Christian Hoffmann
aus Neustadt / Waldnaab

Würzburg, den 4. 2. 1980

Referent: Professor Dr. med. W. Schwerd
Koreferent: Professor Dr. med. E. Schulz
Dekan: Professor Dr. med. K.-H. Wulf

Tag der mündlichen Prüfung: 11. 7. 1980

UNIV.
LEIDEN
BIBL.

Gedruckt mit Genehmigung der Medizinischen Fakultät
der Universität Würzburg

MEINEN ELTERN

Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41543521_0041

MIKROSPEKTRALPHOTOMETRISCHE MESSUNGEN AN TEXTIL-FASERSPUREN IM DURCHLICHT

INHALTSANGABE

Seite

1. LITERARISCHER TEIL

1.1. Einleitung und Fragestellung
1.2. Instrumentarium
1.3. Physikalische Grundlagen
1.4. Meßmethoden
1.5. Meßergebnisse bei früheren Autoren

2. EXPERIMENTELLER TEIL

2.1. Meßbedingungen
2.1.1. Spektrale Empfindlichkeit der Meßanordnung
2.1.2. Einfluß der Farbtemperatur
2.1.3. Objektivwahl
2.1.4. Leuchtfeldblende
2.1.5. Meßblende
2.1.6. Beleuchtungsapertur
2.1.7. Tubusschieberstellung
2.1.8. Chromatische Fokusdifferenz
2.1.9. Fokussierung
2.1.10. Meßwertänderung bei Benutzung verschiedener Objekttische
2.2. Wahl der Meßmethode
2.3. Meßergebnisse bei verschiedenen Faserfärbungen

Seite

2.3.1. Identische Einfärbung unterschiedlicher Fasersorten
2.3.2. Messung an Fasern mit "kritischen" Einfärbungen
2.3.2.1. Schwarze Fasern
2.3.2.2. Graue Fasern
2.3.2.3. Schwachgefärbte und farblose Fasern
2.4. Fallbeispiel aus der rechtsmedizinischen Praxis

3. DISKUSSION

4. ZUSAMMENFASSUNG

5. LITERATURVERZEICHNIS

1. LITERARISCHER TEIL

1.1. Einleitung und Fragestellung

Der Indizienbeweis auf Grund von am Tatort sichergestellten Textilfasern erlangte seit Einführung und Weiterentwicklung der Klebstreifenmethode als Asservierungstechnik (FREI - SULZER, 1951; FREI - SULZER und JOTTI, 1966; SCHAIDT, 1970) zur Sicherung von Mikrospuren zunehmende Bedeutung. Die wichtigsten Beispiele dafür sind: Kaum sichtbar angestreiftes Material der Täterkleidung von Einbruchstatorten, Faserspuren an Kraftfahrzeugen von der Kleidung angefahrener Fußgänger, Überkreuz-Kontamination von Textilien bei Gewaltverbrechen (FREI - SULZER, 1954; BERG, 1961), Kontaktspuren in Kraftfahrzeugen zur Frage, wer bei Unfällen Fahrer oder Beifahrer war, und Fasern an Tatwerkzeugen.

Beim Vergleich von Textilfaserspuren und Vergleichsmaterial wird eine Übereinstimmung möglichst vieler Eigenschaften erwünscht, denn je mehr Informationen bezüglich einer Spur erhältlich sind, umso größer, sicherer und zuverlässiger wird ihr Beweiswert (FREI - SULZER, 1960; MARTIN, 1975). Größe, Form und Farbe werden am einfachsten mikroskopisch verglichen. Die charakteristische Morphologie von Nativfasern läßt eine Unterteilung in tierische (Wolle, Seide) und pflanzliche Fasern (Baumwolle etc.) zu, Chemiefasern können durch ihre andersartige Struktur (sie besitzen häufig einen charakteristischen, durch die Spinndüse bedingten Querschnitt) und anhand ihrer Pigmentierungen unterschieden werden (HECHT, 1961; ADEBAHR, 1963; REUMUTH, 1972; GRÜNSTEIDL, 1972; STRATMANN, 1972).

Ein wesentliches Merkmal von Textilfasern ist jedoch ihre Einfärbung. Lichtmikroskopisch lassen sich zahlreiche Farbnuancen unterscheiden. Unser Auge erkennt aber nicht, ob der Farbeindruck durch einen Farbstoff oder durch ein Gemisch von mehreren Farbstoffen zustande kommt. Der gleiche sinnesphysiologische Farbeindruck kann auf metameren Farben beruhen, d. h. Farben, die in ihren physikalischen Eigenschaften variieren, aber vom Auge nicht unterschieden werden. Andererseits kann ein Farbstoff je nach Konzentration verschiedene Farbnuancen vortäuschen.

Zur objektiven Unterscheidung subjektiv gleich gefärbter Fasern bieten sich chemische Analysen an. Diese sind jedoch in zweifacher Hinsicht ungünstig. Die meisten Tatortspuren liegen in Mikromengen vor. Für chemische Untersuchungen sind aber größere Farbstoffmengen nötig. Außerdem arbeiten sie nicht zerstörungsfrei, das Objekt wird irreversibel verändert. Die Corpora delicti müssen jedoch als Beweismittel und für eine Nachprüfung der Befunde erhalten bleiben.

Durch die Mikrospektralphotometrie erhält man Aufschluß über das spektrale Verhalten der Farbe einer Faser. An kleinsten Faserfragmenten kann zerstörungsfrei festgestellt werden, wie Extinktionsmaxima und -minima eines Farbstoffes oder Farbstoffgemisches im Spektrum angeordnet sind. Die Meßresultate werden in Form von Transparenzkurven aufgezeichnet. Dadurch kann die Farbe einer Faserspur dokumentarisch fixiert werden und die Ergebnisse sind reproduzierbar (AMSLER, 1959; SUCHENWIRTH und BRÜCK, 1968; BRÜCK und RÖHM, 1975; HALONBRENNER und MEIER, 1973).

Der Klebstreifenverband erlaubt eine jahrelange Aufbewahrung der Fasern, ohne daß sich die Farbe ändert (MARTIN, 1965; FREI - SULZER und JOTTI, 1966; FREI - SULZER, 1971).

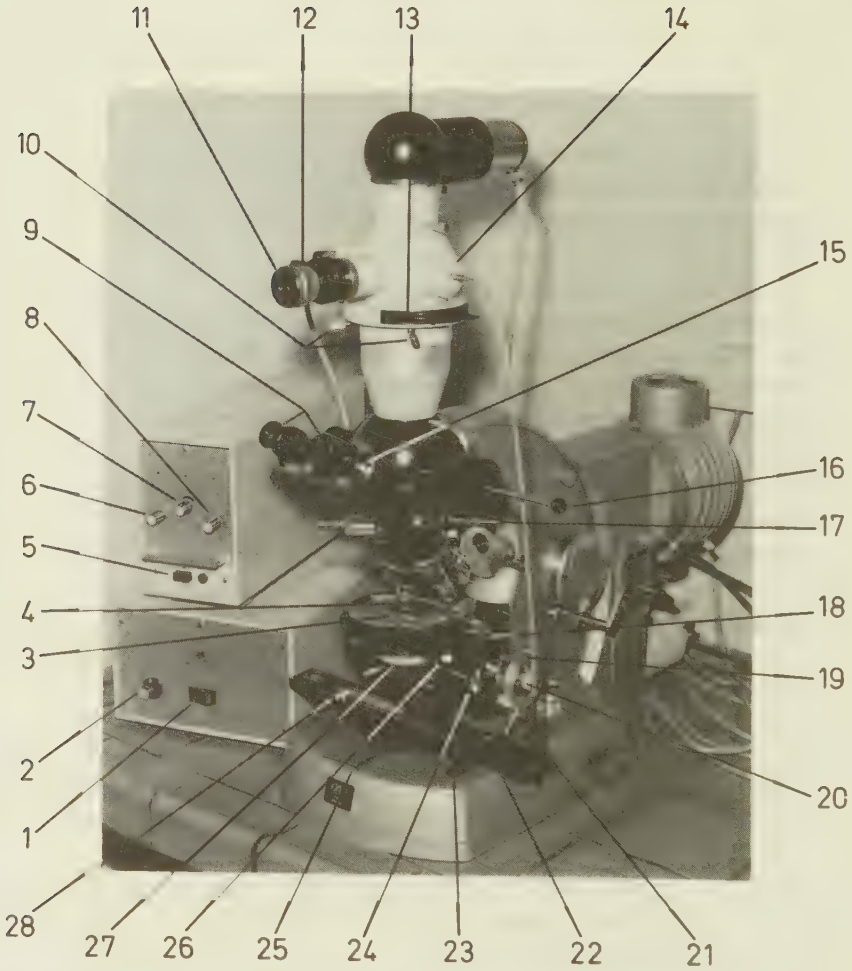
Ziel der vorliegenden Arbeit ist es, den eigentlichen Meßvorgang am Zeiss Mikroskop-Photometer 01 möglichst komplikationslos und praktisch anwendbar zu gestalten. Dabei wird die größtmögliche Reproduzierbarkeit der Messungen angestrebt. Anhand von Transparenzkurven sollen die verschiedenen Schritte und Ergebnisse dokumentiert werden. Im einzelnen ist hierzu die Beantwortung folgender Fragen nötig:

1. Welche Meßmethoden und -bedingungen erlauben routinemäßige und besonders reproduzierbare mikrospektralphotometrische Messungen an Textilfaserspuren im Durchlicht?

2. Wie beeinflussen verschiedene Faserfärbungen und Fasersorten den Kurvenverlauf und welche Einfärbungen weisen die Grenzen der Mikrospektralphotometrie auf?

3. Welche Ergebnisse früherer Autoren lassen sich auf das am hiesigen Institut verwendete Mirkospektralphotometer übernehmen?

Ein Fall aus der rechtsmedizinischen Praxis soll den praktischen Wert der Mikrospektralphotometrie verdeutlichen.



1 Einschalttaste für die Mikroskopierleuchte
2 stabilisiertes Netzgerät
3 Point-Counter-Drehknopf
4 Objektiv
5 Meßverstärker
6 Stufenschalter für Hochspannung
7 Feinregulierung der Signalverstärkung
8 Funktionsschalter am Meßverstärker
9 Binokular
10 Zentrierschrauben für Meßblende
11 Einstellokular
12 Lichtschutzschieber
13 Meßblendenträger
14 Strahlenlenker
15 Binokulartubus
16 Tubusschieber
17 Optovar
18 Objekttisch
19 Grobtrieb
20 Feintrieb
21 Auslöser
22 Monochromator auf Blendeneinsatz
23 Leuchtfeldblendenschieber im Schlitz des Blendeneinsatzes
24 Kondensortrieb
25 Hebel der Leuchtfeldirisblend
26 Zentrierschraube am Objektivkondensor
27 Objektivkondensor
28 Drehknopf zum Einstellen der Wellenlänge

1.2. Instrumentarium

Das von uns verwendete Mikroskop-Photometer 01 der Firma Carl Zeiss, Oberkochen, arbeitet nach dem Einstrahlverfahren. Zentrale photometrische Baueinheit ist der Photometeraufsatz 01, der, auf den Tubuskopf des "Photomikroskops" aufgesetzt, für Transmissionsmessungen im sichtbaren Spektralbereich eingesetzt wird.

Zur Bündelbegrenzung im Mikroskopphotometer ist eine Leuchtfeldblende im Beleuchtungsstrahlengang vor dem Objekt erforderlich. Dazu wird in den Schlitz des Blendeneinsatzes ein mechanisch bedienbarer Leuchtfeldblendenschieber (23) eingesetzt, der mit einem Lochblendensatz bestückt ist. Diese erlauben die genaue Reproduzierbarkeit kleiner Leuchtfelder für die Photometrie. In der Mittel- und den Endstellungen des Schiebers geht das Licht frei durch.

Auf dem Blendeneinsatz ist ein Verlauffilter-Monochromator (22) im Beleuchtungsstrahlengang angebracht. Dieses Interferenzfilter besitzt einen kontinuierlich veränderlichen Durchlässigkeitsbereich von 400 - 700 nm. Die gewünschte Wellenlänge kann mit einem Drehknopf (28) eingestellt werden.

Zur scharfen und kontrastreichen Abbildung der Leuchtfeldblende benutzen wir einen Objektivkondensor (27). Dadurch werden Störungen durch Reflex- und Streulicht vermindert. Der Objektivkondensor bildet die Leuchtfeldblende in der Objektebene um seine Maßstabszahl verkleinert ab. Durch Höhenverstellung des Kondensors am Kondensortrieb (24) wird die Leuchtfeldblende scharf abgebildet. Mit zwei Zentrierschrauben (26) kann man das Leuchtfeldblendenbild in der Objektebene zentrieren.

Das Licht gelangt nach dem Präparat (Textilfaser) auf dem Objekttisch (18) durch das Objektiv (4) und den Optovar (17) zum Strahlenteilungssystem im Tubuskopf. Im Wechselrevolver sind fünf Objektive mit den Maßstabszahlen 4, 10, 25, 40 und 100 eingeschraubt. Der Optovar vergrößert je nachdem, in welchen Stellungen der obere Rändelring einrastet, um die Faktoren 1,25, 1,6 oder 2.

Steht der Tubusschieber (16) des Strahlenteilungssystems in Stellung 1 (Rast am weißen Ring), so lenkt ein Prisma im Tubuskopf alles Licht in den Binokulartubus (15). In Stellung 2 (Rast am roten Ring) geht 1/3 des Lichtes zum Binokulartubus, 2/3 des Lichtes gehen ins Photometer. In Stellung 4 (Rast am blanken Ring) tritt alles Licht senkrecht nach oben zum Photometer. Die Vergrößerung, unter der das mikroskopische Bild dem Auge im Binokulartubus erscheint, errechnet sich aus dem Produkt der Maßstabszahl des Objektivs, des Faktors des Optovars und der Lupenvergrößerung des Okulars.

Der Hauptteil des Photometeraufsatzes 01 ist ein erweiterter gerader Tubus. In einen waagrechten Schlitz ist der Meßblendenträger (13) einschiebbar. Die Meßblenden befinden sich in der Ebene des vom Mikroskopobjektiv entworfenen Zwischenbildes. Sie dienen der Bündelbegrenzung im Abbildungsstrahlengang hinter dem Objekt. Es stehen eine verstellbare Rechteckblende und ein Meßblendenrevolver mit verschiedenen Lochblenden und einer Irisblende zur Verfügung.

Mit Zentrierschrauben (10) läßt sich die Meßfeldblende und damit das Meßfeld, das im Einstellokular (11) sichtbar ist, zentrisch zur Bildmitte einjustieren.

Drückt man auf den Knopf des Auslösers (21), gelangt das Licht zur Messung senkrecht nach oben auf den Elektronenvervielfacher. Während der Messung entwirft eine direkt über der Meßblende eingebaute Sammellinse auf dem Empfänger einen Lichtfleck. Dieser löst auf der Kathode des Elektronenvervielfachers einen Photostrom aus (HAASE, 1968).

Die Meßwertausgabe erfolgt über den Meßverstärker (5) und einen angeschlossenen Potentiometerschreiber (Servogor S, der Firma Goerz Elektro).

Mit dem Funktionsschalter am Meßverstärker (8) kann man zwischen Transparenz- (Stellung T) und Extinktionsmessungen (Stellung E) wählen. Das Signal der Referenzstelle (s. 1.4. Meßmethoden) kann mit der Feinregulierung der Signalverstärkung (7) (bei größeren Abweichungen mit dem Stufenschalter für Hochspannung (6)) am Meßverstärker für Transparenzmessungen auf den Wert 100 % (ablesbar am Schreiber) einreguliert werden.

Wird der Knopf des Auslösers nicht gedrückt, gelangt das Licht nach vorn zur direkten Beobachtung in das Einstellokular. Der Lichtweg zum Elektronenvervielfacher ist dann geschlossen. Das Bild erscheint im Einstellokular um sechzehnmal größer als das Produkt aus Maßstabszahl des Objektivs und Faktor des Optovars. Im Binokulartubus ist das normale mikroskopische Sehfeld zu überblicken, im Einstellokular des Photometeraufsatzes die Meßblendenebene und damit das eingestellte Meßfeld. Die Meßstelle läßt sich mit dem Fokussiertrieb (20) des Mikroskops im Einstellokular scharfstellen. Zur Messung läßt sich das Einstellokular mit dem Lichtschutzschieber (12) schließen, um Störlicht zu vermeiden.

1.3. Physikalische Grundlagen

Transparenzkurven erhält man nach folgendem Prinzip. Mit Hilfe eines Monochromators werden eine Leerstelle und eine Objektstelle mit Licht einer bestimmten Wellenlänge durchleuchtet und das von der Objektstelle durchgelassene Licht ins Verhältnis zum von der Leerstelle durchgelassenen Licht gesetzt. Bei Einstellung der Leerstelle befinden sich Objektträger, Einbettungsmittel und Deckglas, aber nicht die Faser im Strahlengang; bei Einstellung der Objektstelle kommt die Faser dazu.

I_0 bezeichnet die Intensität des von der Leerstelle durchgelassenen Lichts, I die Intensität des von der Faser durchgelassenen Lichts. Die Transparenz T der Objekte in Prozenten ergibt sich aus dem Bruchteil I/I_0 multipliziert mit 100.

$$T\ (\%) = \frac{I}{I_0} \times 100$$

Die Lichtintensitäten werden mit Photozellen gemessen, die einen Photostrom liefern, der an Instrumenten abgelesen werden kann. Am Monochromator werden die Wellenlängen, für die die Transparenz gemessen werden soll, der Reihe nach eingestellt und so Transparenzkurven einer Textilfaser erstellt (AMSLER, 1959).

Absorption in Prozenten erhält man, indem man von 100 % die Transparenz in Prozenten abzieht:

$$A\ (\%) = 100\ \% - T\ (\%)$$

d. h. einen Absorptionsmaximum entspricht ein Transparenzminimum.

Aus der Transparenz läßt sich logarithmisch die Extinktion E herleiten:

$$E = \log \frac{1}{T}$$

Nach dem Lambert-Beer'schen Gesetz ist die Extinktion der Farbstoffkonzentration C und der Dicke d der Faser proportional:

$$E = \varepsilon \times c \times d\ ,$$

wobei ε den Extinktionskoeffizienten darstellt (RICK, 1974).

Bei mikrospektralphotometrischen Messungen an Textilfasern kommt es jedoch nicht so sehr auf eine quantitative Bestimmung der Farbstoffmenge an, "es soll vielmehr in vergleichenden Untersuchungen mit Hilfe einer physikalischen Meßmethode die Lage eines oder mehrerer Absorptionsmaxima eines Faserfarbstoffes im Spektrum gefunden werden" (BRÜCK und RÖHM, 1975 S. 188).

Extinktionskurven wie auch Transparenzkurven von Textilfasern, die mit dem gleichen Farbstoff eingefärbt worden sind, können bei Farbstoffkonzentrationsunterschieden nicht deckungsgleich, sondern nur parallel verlaufen.

Es müssen aber bei Vergleichsmessungen die gemessenen Absorptionsmaxima bzw. Transparenzminima bei der gleichen Wellenlänge liegen und der Kurvenverlauf annähernd parallel sein. HALONBRENNER (1973) schreibt, daß man in vielen Fällen schon aus der Beurteilung der Transparenzkurven erkennen könne, ob sich die Kurven auf den gleichen Farbstoff bezögen oder nicht.

Außer der Beurteilung der gleichen Lage der Transparenzminima und des ähnlichen Kurvenverlaufs ist es aus Gründen der Beweiskraft von Transparenzkurven nötig, am Vergleichsmaterial den Variationsbereich zu erfassen. Dies geschieht durch Messungen an mehreren Einzelfasern. Danach werden die am Tatort sichergestellten Faserfragmente spektrophotometriert und die Meßergebnisse miteinander verglichen (MARTIN, 1973).

Die Transparenzkurven der sichergestellten Fasern müssen innerhalb der Variation des Vergleichsmaterials liegen. Mindestens ein Paar, besser jedoch mehrere Paare, sollten praktisch deckungsgleiche Transparenzkurven aufweisen. Besonders bei der Bearbeitung von Naturfasern, die durch ihre nie absolut gleiche Einfärbung mehr oder weniger große Variationen der Kurvenverläufe aufweisen, fordert HALONBRENNER (1976) eine Bestimmung des Variationsbereichs. Erst wenn diese Bedingungen erfüllt sind, lassen sich Fasern als "mikrospektralphotometrisch nicht unterscheidbar" bezeichnen (HALONBRENNER, 1976).

1.4. Meßmethoden

Es gibt zwei Möglichkeiten, mit einem Einstrahl-Photometer Transparenzkurven von Textilfasern zu erhalten:

A. In einer Leerstelle des Präparates wird bei jeder Wellenlänge bei konstanter Empfänger-Versorgungsspannung die Intensität I_o gemessen und für die einzelnen Wellenlängen am Schreiber aufgezeichnet. Hierbei wird die spektrale Charakteristik des Photometers ermittelt und in einer Kurve niedergelegt. Die Intensität I wird für jede Wellenlänge bei Wiederholung des Vorganges in einer Objektstelle des Präparates bestimmt. Die Transparenzkurve der Faser in Prozent läßt sich durch Division von I durch I_o und Multiplikation mit 100 bei jeder Wellenlänge errechnen (SUCHENWIRTH und BRÜCK, 1968).

b) Der I_o-Wert kann auch nach dem Schreiber durch Änderung der Empfänger-Versorgungsspannung am Meßverstärker bei einer Wellenlänge auf den Wert 100 (T (%) = 100 %) eingestellt werden. Bei derselben Wellenlänge wird dann bei Messung im Objekt die Transparenz der Faser in Prozent direkt am Schreiber markiert. Verbindet man die einzelnen Transparenzwerte für jede Wellenlänge, erhält man die Transparenzkurve der Faser (SUCHENWIRTH und BRÜCK, 1968).

Beide Meßmethoden besitzen Vor- und Nachteile.

Zu A:

Es werden hier zwei relative Spektren vermessen, die erst miteinander verrechnet werden müssen ($\frac{I}{I_o} \times 100$). Objektstelle und Leerstelle bleiben bei jeder Wellenlänge gleich. Die für eine Messung der Leerstelle verwendeten Wellenlängen müssen bei der Messung der Objektstelle wieder exakt eingestellt werden, um die richtige Transparenz durch Quotientenbildung zu erhalten. Einstellfehler können im ungünstigsten Fall ein Absorptionsmaximum oder -minimum vortäuschen. Da I_o nur bei einer Wellenlänge den Wert 100 % erreichen kann, wird die mögliche Ablese- und Meßgenauigkeit des Instrumentes nicht voll ausgenutzt. Besonders Fasern hoher Absorption werden sehr ungenau gemessen. Die beiden Kurven werden sehr rasch ermittelt, die Berechnung der Transparenzkurve erfordert dafür wieder mehr Zeit (BRÜCK und RÖHM, 1975; SUCHENWIRTH und BRÜCK, 1968).

Zu B:

Hier wird direkt die Transparenzkurve erhalten. Ständig muß hier zwischen Leerstelle und Faser gewechselt werden. Die beiden Meßorte dürfen hierbei nicht verändert werden. Die Monochromatorstellung bleibt dagegen für Objekt- und Leerstelle die gleiche. I_o erreicht für jede Wellenlänge T (%) = 100 %; dadurch wird über den gesamten Spektralbereich die volle Empfindlichkeit des Meßinstrumentes genutzt. Bei dieser Methode müssen wegen des ständigen Objekt-Leerstellenwechsels am Meßinstrument mehr Handgriffe ausgeführt werden, dagegen entfällt die rechnerische Auswertung (BRÜCK und RÖHM, 1975; SUCHENWIRTH und BRÜCK, 1968).

AMSLER entschloß sich gemäß seinen damaligen technischen Voraussetzungen zu Methode A, SUCHENWIRTH und BRÜCK bevorzugten dagegen Methode B. HALONBRENNER und MEYER (1973) benutzten ein Zweistrahl-Mikrospektralphotometer, das die Transparenz einer Probe automatisch registriert.

1.5. Meßergebnisse bei früheren Autoren

Besonderer Wert wird auf die Meßbedingungen gelegt, deren Standardisierung erst ein reproduzierbares Messen am Mikrospektralphotometer erlaubt.

Eine Änderung des Lampenstromes bedingt eine Änderung der spektralen Strahlungsverteilung (Farbtemperatur) der Lichtquelle. BRÜCK und RÖHM (1975) schreiben, daß zwar der visuelle Eindruck einer gefärbten Faser von der Farbtemperatur der Lichtquelle abhänge, das photometrisch gemessene spektrale Verhalten als Verhältniswert von eingestrahlter zu durchgelassener Lichtmenge bei einer konstanten Farbtemperatur davon aber unberührt bleibe. Deshalb fordern SUCHENWIRTH und BRÜCK (1968), daß eine Lampenstromänderung während der Messung vermieden werden sollte. Damit bleibt der Einfluß der spektralen Energieverteilung der Lichtquelle bei Messung in Objekt- und Leerstelle der gleiche (AMSLER, 1959).

Bei der Wahl der Vergrößerung beschränken sich BRÜCK und RÖHM (1975) und SUCHENWIRTH und BRÜCK (1968) auf ein Objektiv (40-fach). HALONBRENNER und MEIER (1973) richten die Vergrößerung nach dem Faserdurchmesser.

Bei einem mikroskopischen Bild ist der Streulichtanteil umso höher, je größer die Leuchtfeldblende gewählt wird. SUCHENWIRTH und BRÜCK (1968) und BRÜCK und RÖHM (1975) suchen deshalb zur Streulichtreduktion die Leuchtfeldblendenabbildung so klein zu halten, daß nur ein Feld beleuchtet ist, das etwas grö-

ßer als das Meßfeld ist. Dabei ist jedoch auf Beugungserscheinungen zwischen Blenden- und Faserkante zu achten (SUCHENWIRTH und BRÜCK, 1968). Die Auswirkung eines zu großen Streulichtanteils ist bei hohen Absorptionswerten relativ stärker als bei niedrigen (BRÜCK und RÖHM, 1975).

Zur bedeutsamen Frage der Meßblendenwahl schreiben SUCHENWIRTH und BRÜCK (1968), HALONBRENNER und MEIER (1973) und BRÜCK und RÖHM (1975), daß es wichtig sei, ein relativ großes Areal der Fasern auszumessen, um inhomogene Einfärbungen - besonders bei Naturfasern - möglichst auszugleichen. Außerdem bedingt ein größeres Meßfeld eine kleinere Verstärkungsstufe des Photomultipliers. Dadurch wird dessen Dunkelstrom und damit der Rauschpegel bei Aufzeichnung der Transparenzkurven geringer (HALONBRENNER und MEIER, 1973). Die Randzonen der Fasern müssen allerdings außerhalb des Meßfeldes liegen, da hier die Schichtdicke abnimmt (SUCHENWIRTH und BRÜCK, 1968) und Beugungseffekte auftreten können (HALONBRENNER und MEIER, 1973).

Mit abnehmender Beleuchtungsapertur kann die Absorption steigen, da bei kleiner Apertur Oberflächenstrukturen (z. B. die Cuticula bei Wollfasern), Verschmutzungen etc. deutlicher hervortreten. Dunkle Bildpartien bewirken aber eine höhere Absorption. Je nach Faser sollte eine einmal experimentell festgelegte Beleuchtungsapertur gewählt werden (BRÜCK und RÖHM, 1975).

Die chromatische Fokusdifferenz von Linsenobjektiven verursacht beim Wellenlängenwechsel eine Änderung

der Lage der Leuchtfeldblendenabbildung und der gerade beobachteten Ebene innerhalb des Objektes (SUCHENWIRTH und BRÜCK, 1968). Dadurch entsteht ein Meßfehler. Die Schichtdicke von Fasern ist allerdings so groß, daß Leuchtfeldblendenabbildung und Beobachtungsebene während der Messung immer innerhalb der Fasern liegen. Auch in der Tiefe der Fasern ist eine ungleiche Färbung vorhanden, die jedoch nach SUCHENWIRTH und BRÜCK (1968) meßbar kaum zu erfassen ist. Bei Fokussierung innerhalb der Faser erhielten sie nur Meßwertänderungen von $\pm$ 2 %. Außerdem ist der durch die chromatische Fokusdifferenz bedingte Fehler unter gleichen Meßbedingungen bei vergleichenden Untersuchungen reproduzierbar. Er kann als systematischer Fehler vernachlässigt werden (BRÜCK und RÖHM, 1975). Eine einmalig vorgenommene Scharfstellung von Leuchtfeldblendenabbildung und Objekt während der Messung darf also bestehen bleiben, zumal es bei einer individuellen Nachfokussierung für jede Wellenlänge praktisch unmöglich ist, bei mehreren möglichen Beobachtungsebenen im Objekt wirklich die vorher beobachtete Zone einzustellen (SUCHENWIRTH und BRÜCK, 1968, BRÜCK und RÖHM, 1975).

Bei vergleichenden Messungen ist die Fokussierung der Faser zu standardisieren, da sie den Meßwert beeinflussen kann. So ist die Absorption zu niedrig, wenn die Fokussierungsebene außerhalb der zu messenden Faser liegt. Die Absorption nimmt auch ab, wenn man von der Fasermitte auf die Ober- und Unterseite der Faser scharfstellt, wobei der Abfall nach BRÜCK und RÖHM (1975) von Konzentration und Diffusionstiefe des Farbstoffes und von Beschaffenheit und Profil der Faser

abhängt. Die einmalige Scharfstellung von zu vergleichenden Objekten sollte außerdem immer bei der gleichen Wellenlänge geschehen, da erst dadurch der Fehler der chromatischen Fokusdifferenz reproduzierbar wird (SUCHENWIRTH und BRÜCK, 1968; BRÜCK und RÖHM, 1975).

Zur Frage des Einflusses der Faserart auf den Kurvenverlauf, die wichtig für die Bedeutung verschiedener Faserfärbungen auf das Meßergebnis ist, machen SUCHENWIRTH und BRÜCK (1968) einen Vergleich zwischen Spektren von Farbstoffen in Lösung, mit denen Testfasern eingefärbt wurden, und dem Spektrum der betreffenden Testfasern. Wie zu erwarten, haben die Lösungsspektren kaum Ähnlichkeit mit den Faserspektren. HALONBRENNER (1976) kommt bei der Vermessung von gleich eingefärbten Polyester- und Schurwollfasern einer Hose zu dem Ergebnis, daß beide Fasern im sichtbaren Wellenlängenbereich einen weitgehend ähnlichen Kurvenverlauf aufwiesen, im UV-Bereich dagegen einen Unterschied zeigten. Er schließt daraus, daß dieser durch das Fasersubstrat hervorgerufen wurde.

FREI - SULZER (1963) vertritt bei zu dunklen oder gar schwarzen Fasern die Auffassung, daß eine nur optische Prüfung hier versage. Er fordert unbedingt chemische Verfahren, bei denen Faserfarbstoffe bei Gleichfärbung ein gleiches Verhalten gegen alle chemischen Stoffe in Tüpfelreaktionen zeigen müßten. In wichtigen Fällen könne eine Kombination mit der Mikrospektralphotometrie erfolgen. Ein Teil der Farbstoffe werde dabei mit Lösungsmitteln herausgezogen und mikrospektralphotometrisch vermessen. Die in der Faser

verbliebenen Farbstoffanteile müßten ebenfalls einer Messung zugeführt werden. Im Gegensatz hierzu schreiben BRÜCK und RÖHM (1975), daß schwarz gefärbte Fasern eigentlich gleichmäßig über den gesamten Spektralbereich absorbieren müßten, in der Regel jedoch gut differenzierte Spektren ergäben, da auch sie in bestimmten Spektralbereichen lichtdurchlässig seien. Obwohl vom Auge nur schwer oder nicht zu bewerten, seien deshalb in der Mikrospektralphotometrie objektive Daten erhältlich. HALONBRENNER und MEIER (1973) befassen sich näher mit dem Seltenheitswert des Spektrums (300 - 700 nm) einer schwarzen Wollfaser, z. B. aus der Herrenoberbekleidung. Hierzu vermessen sie nur Proben mit dem Gütezeichen "Reine Schurwolle", da Fasern aus Reißwolle eine große Variation bezüglich der Kurvenverläufe zeigten. Sie kommen zu dem Ergebnis, daß alle Meßkurven ein Transparenzminimum um 580 nm hätten und die Unterschiede im allgemeinen nur bei Wellenlängen kleiner als 450 nm lägen.

Auch MARTIN (1973) geht auf den Beweiswert von schwarzen Wollfasern ein. Je nach Stoffqualität werde schwarzen Wollstoffen Reißwolle beigemischt. Darunter seien Fasern mit einem oder mehreren früheren Färbeprozessen, die dann einer neuen Schwarzfärbung zugeführt würden. Deshalb seien schon im Durchlicht Nuancen feststellbar: dunkelblau, grau, violett, blaugrau etc.. Seine Schlußfolgerung besteht deshalb auch darin, daß schwarze Wollfaserfragmente nur dann Indizien seien, wenn feststehe, daß das in Frage stehende Kleidungsstück mit Sicherheit keine Reißwolle enthalte, und wenn, was bei Schwarzfärbung kaum zutreffe, eine außergewöhnlich seltene Einfärbungsmethode zur Anwendung gelangt sei.

Auch graue Fasern besitzen große Bedeutung, da z. B. grauer Anzugsstoff häufig verwendet wird. Mit den Methoden von BERG (1961) (ohne Mikrospektralphotometrie) sind graue Wollfasern schlecht unterscheidbar. Graufarbstoffe bestehen jedoch aus mehreren Farbstoffkomponenten mit jeweils spezifischen Transparenzkurven, so daß Spektren erhalten werden, die aus sich überlagernden Absorptionsmaxima zusammengesetzt sind. Deshalb sind auch bei Grautönen reproduzierbare Messungen möglich (BRÜCK und RÖHM, 1975).

Nur bei hellgrauen Fasern stoßen BRÜCK und RÖHM (1975) an die Grenze der Mikrospektralphotometrie. Sie erhalten irrelevante Banden ohne Zuordnung zum Farbstoff.

Zum Schluß soll noch auf die Möglichkeit in der Literatur eingegangen werden, auch Spektren von schwachgefärbten Fasern zu bekommen. Bei Stückfärbung eines Fadens mit geringer Farbstoffdiffusionstiefe bei geringer Farbstoffbadkonzentration entstehen Textilgewebe, die meist einen noch recht ausgeprägten Farbton aufweisen, während die Einzelfasern im Mikroskop fast farblos sein können. BRÜCK und RÖHM (1975) erhalten bei der Messung von roten Baumwollfasern noch recht ausgeprägte Spektren, obwohl diese eine so geringe Farbsättigung aufweisen, daß es schwer für das menschliche Auge ist, zu einem eindeutigen Farbeindruck zu kommen.

2. EXPERIMENTELLER TEIL

2.1. Meßbedingungen

2.1.1. Spektrale Empfindlichkeit der Meßanordnung

Zur Demonstration der spektralen Empfindlichkeit der Meßanordnung wird eine Kurve bei Messung nur in einer Leerstelle eines Präparates über den Spektralbereich von 400 - 700 nm erstellt. Hierbei befinden sich Objektträger, Einbettungsmedium und Deckglas ohne Faser im Strahlengang (I_o-Messung).

Die erhaltenen relativen Werte sind abhängig von der spektralen Empfindlichkeit des Photomultipliers, von der spektralen Strahlungsverteilung der Lichtquelle und von verschiedenen Eigenschaften der optischen Elemente im Strahlengang (Abb. 1). Ändert sich dieser Einfluß bei der Messung in der Objektstelle (I-Messung) nicht, bleibt das Verhältnis I/I_o davon unberührt, das Absorptionsverhalten der Faser kann in einer Transparenzkurve aufgezeichnet werden.

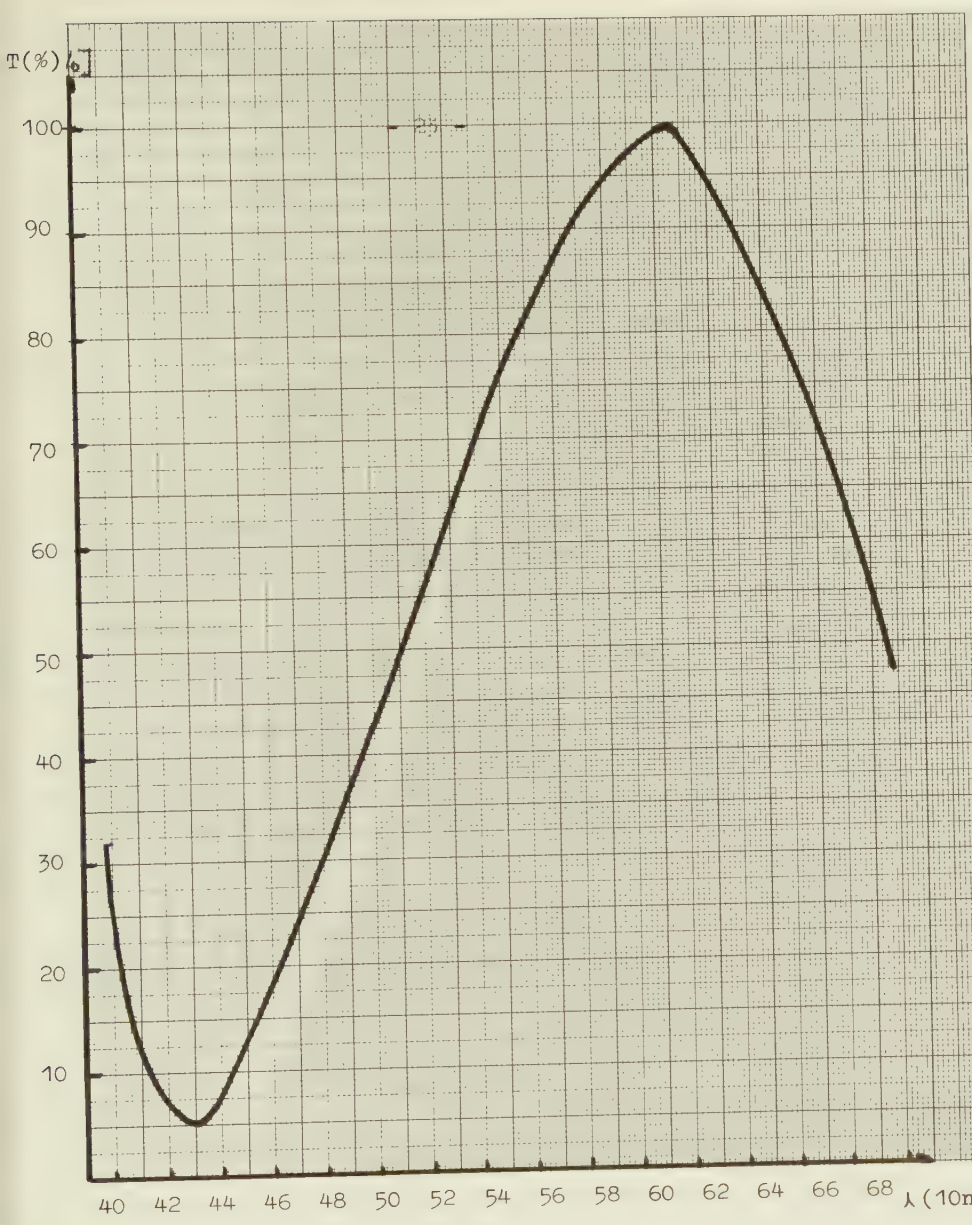


Abb.1 (Versuch 2.1.1.)
Objektträger, Einbettungsmedium und Deckglas ohne Faser im Strahlengang (I_o- Messung)

Objektiv 25; Optovar 2;

2.1.2. Einfluß der Farbtemperatur

In der Leerstelle eines Präparates werden bei sonst gleichen Meßbedingungen Spektralkurven bei immer höherem Lampenstrom gemessen. Durch die größere Farbtemperatur ändert sich die spektrale Strahlenverteilung der Lichtquelle.

Mit Zunahme des Lampenstromes erhöht sich der Anteil der kurzwelligen Strahlung, die I_0-Kurven werden in diesen Bereich verschoben (Abb. 2). Eine zwischen einem Wechsel von Leerstelle auf Objektstelle vorgenommene Änderung des Lampenstromes verfälscht also den Verhältniswert von eingestrahlter zu durchgelassener Lichtmenge, die Transparenzkurve einer Faser kann nicht erstellt werden. Bleibt die Farbtemperatur bei Messung in Leer- und Objektstelle konstant, wird der Verhältniswert nicht beeinflußt. Am einfachsten wird deshalb eine Faser bei gleichbleibendem Lampenstrom ausgemessen. Für die Messung der Vergleichsfaser kann dann je nach Bedarf ein anderer Lampenstrom gewählt werden, der aber ebenfalls während der Messung konstant gehalten werden soll.

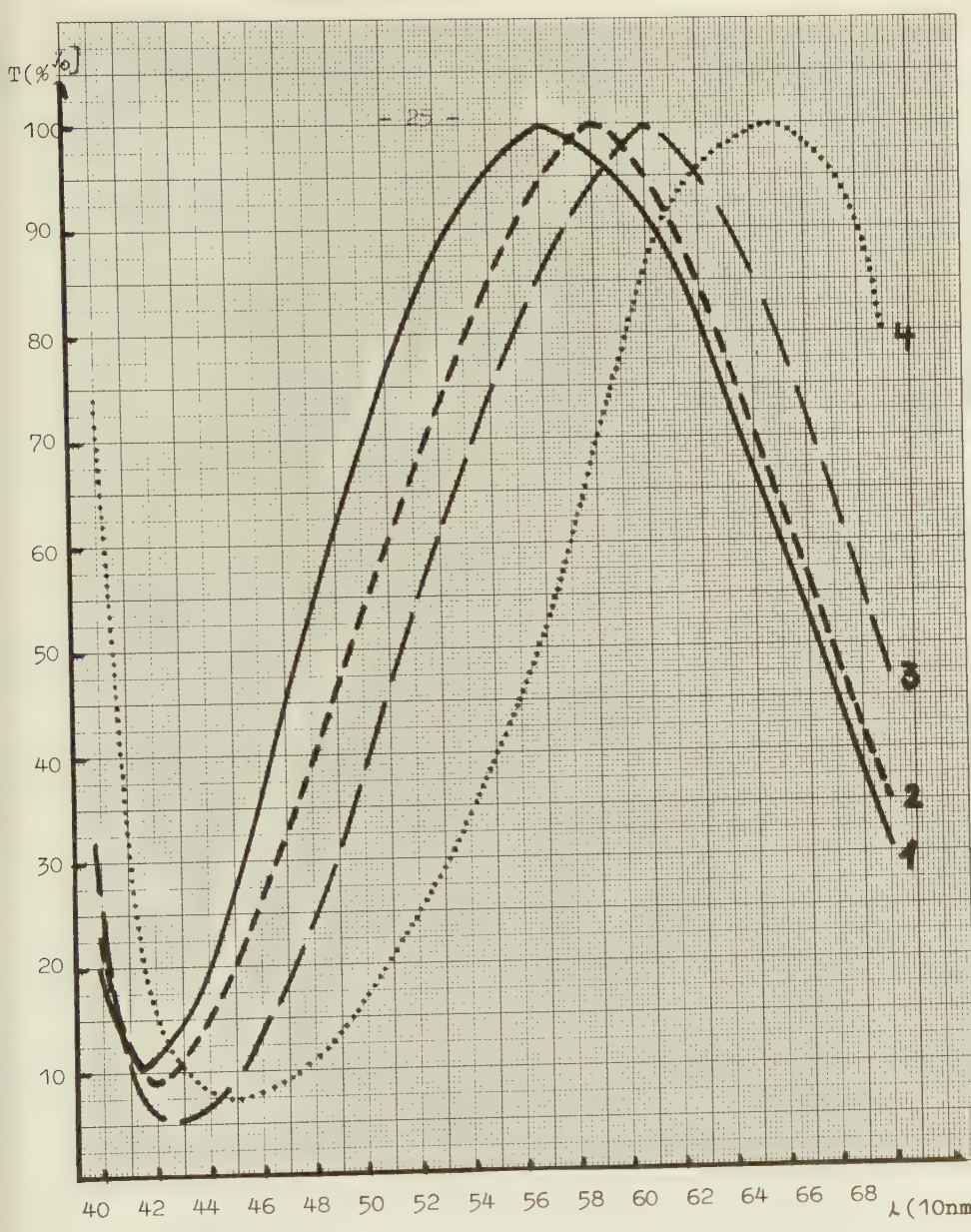


Abb.2 (Versuch 2.1.2.)
I - Messungen bei steigendem Lampenstrom von Kurve (1) bis Kurve (4)

Objektiv 25; Optovar 2;

2.1.3. Objektivwahl

Zur Frage der optimalen Objektivwahl werden von einer roten Wollfaser für jedes Objektiv drei Transparenzkurven bei sonst gleichen Meßbedingungen erstellt. Der Einfachheit halber wird auch das Optovar mit der Maßstabszahl 2 für jede Messung verwendet. Getestet werden vier Objektive mit den Maßstabszahlen 10, 25, 40 und 100. Das Objektiv mit der Maßstabszahl 4 erfordert bei Fasern ein zu kleines Meßfeld.

Für steigende Objektivmaßstabszahlen zeigen die Kurven eine immer höhere Transparenz, da die Farbstoffkonzentration pro Meßfeld abnimmt (Abb. 3). Transparenzminima und -maxima liegen dagegen erwartungsgemäß bei den gleichen Wellenlängen. Es ergibt sich also nur eine Streckung oder Stauchung bezüglich der Transparenz der Kurven. Trotzdem ist es vorteilhafter, bei Vergleichsmessungen der besseren Reproduzierbarkeit halber für am Tatort sichergestellte und Vergleichsfasern ein Objektiv zu wählen. Dabei empfehlen wir je nach Fasergröße entweder das Objektiv mit der Maßstabszahl 25 oder das mit der Maßstabszahl 40. Beide waren ausreichend für alle von uns untersuchten Fasern. Bei Objektiv 100 ist die Vergrößerung so, daß über eine zu kleine Fläche der Faser integriert wird, was sich besonders nachteilig bei den inhomogenen Naturfasern auf die Reproduzierbarkeit auswirkt. Bei Objektiv 10 ist die Vergrößerung so gering, daß eine zu kleine Meßblende gewählt werden muß. Je kleiner aber das Meßfeld ist, eine desto höhere Verstärkerstufe des Photomultipliers ist nötig, der Rauschpegel bei Aufzeichnung der Transparenzkurven steigt.

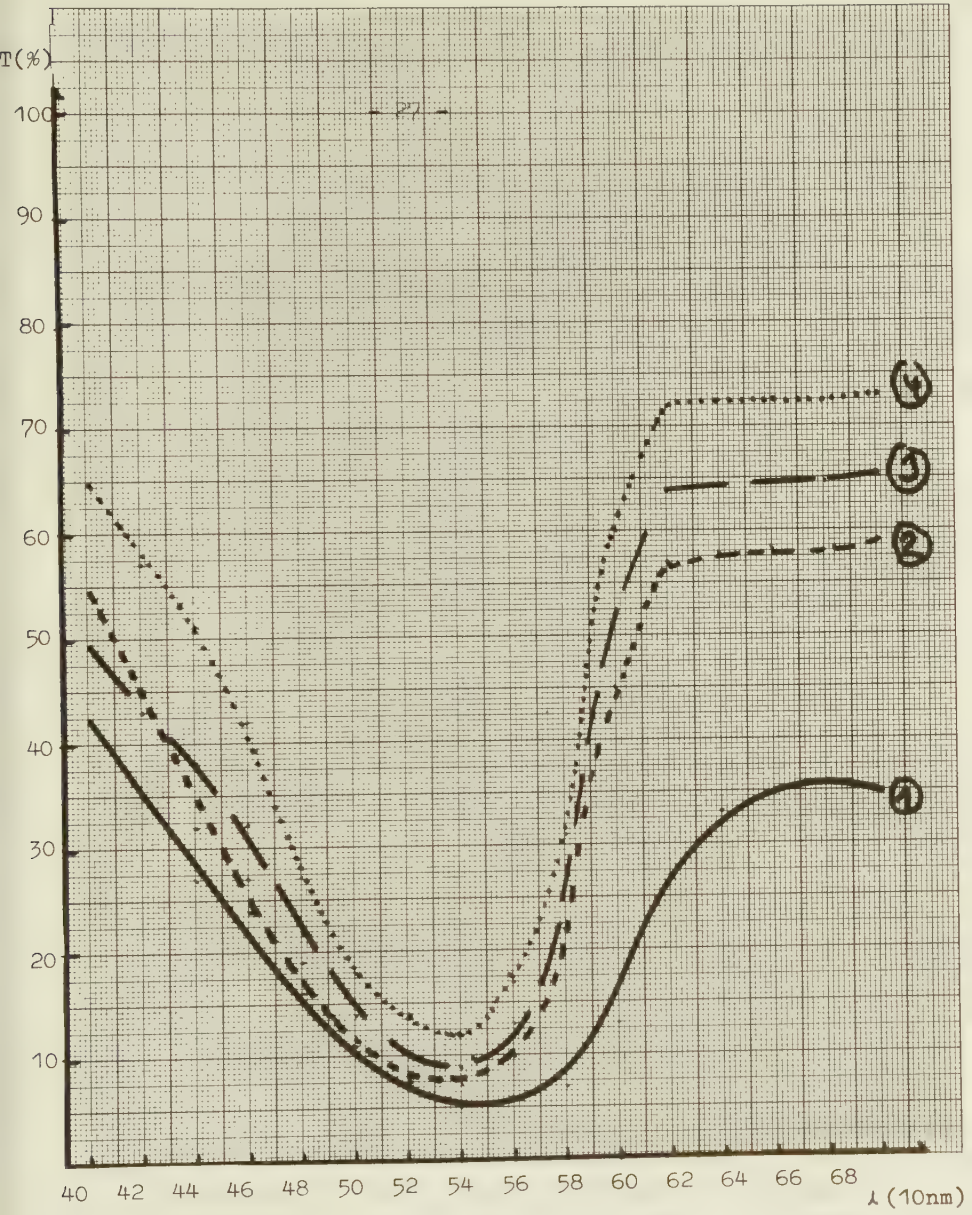


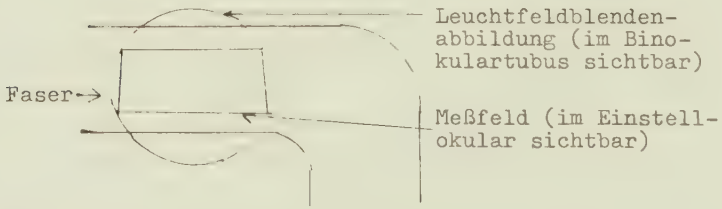
Abb.3 (Versuch 2.1.3.)
Transparenzkurven einer roten Wollfaser mit
(1) Objektiv 10; (2) Objektiv 25; (3) Objektiv 40;
(4) Objektiv 100;

Optovar 2;

2.1.4. Leuchtfeldblende

Die Bedeutung der Leuchtfeldblende kann durch folgenden Versuch demonstriert werden. An einer Faser wird in ihrem Transparenzminimum die Absorption bei verschiedenen Leuchtfeldblendengrößen gemessen.

Je größer die Leuchtfeldblendenabbildung gewählt wird, desto geringer ist wegen dem höheren Streulichtanteil die Absorption der Faser (Abb. 4). Zur besseren Reproduzierbarkeit bei Messung von Vergleichs- und inkriminierten Fasern erscheint deshalb eine Standardisierung der Leuchtfeldblendengröße angezeigt. Als besonders günstig und leicht reproduzierbar hat es sich bei unseren Messungen erwiesen, die Leuchtfeldblendenabbildung der runden Blende so groß zu wählen, daß nur ein Feld beleuchtet ist, das das rechteckige Meßfeld gerade einschließt. Die runde Leuchtfeldblendenabbildung liegt dabei den kurzen Seiten des Meßfeldes an (siehe Skizze).



Dadurch, daß hierbei die Faser nur so weit als zur Messung nötig angestrahlt wird, kann der Streulichtanteil klein gehalten werden. Andererseits ist es möglich, beim Wechsel von der Leerstelle auf die

Objektstelle im Binokulartubus die richtige Lage der Faser zu überprüfen. Beugungserscheinungen zwischen Blenden- und Faserkante konnten außerdem auf Grund der Lage von Leuchtfeldblendenabbildung und Faser zueinander nicht beobachtet werden.

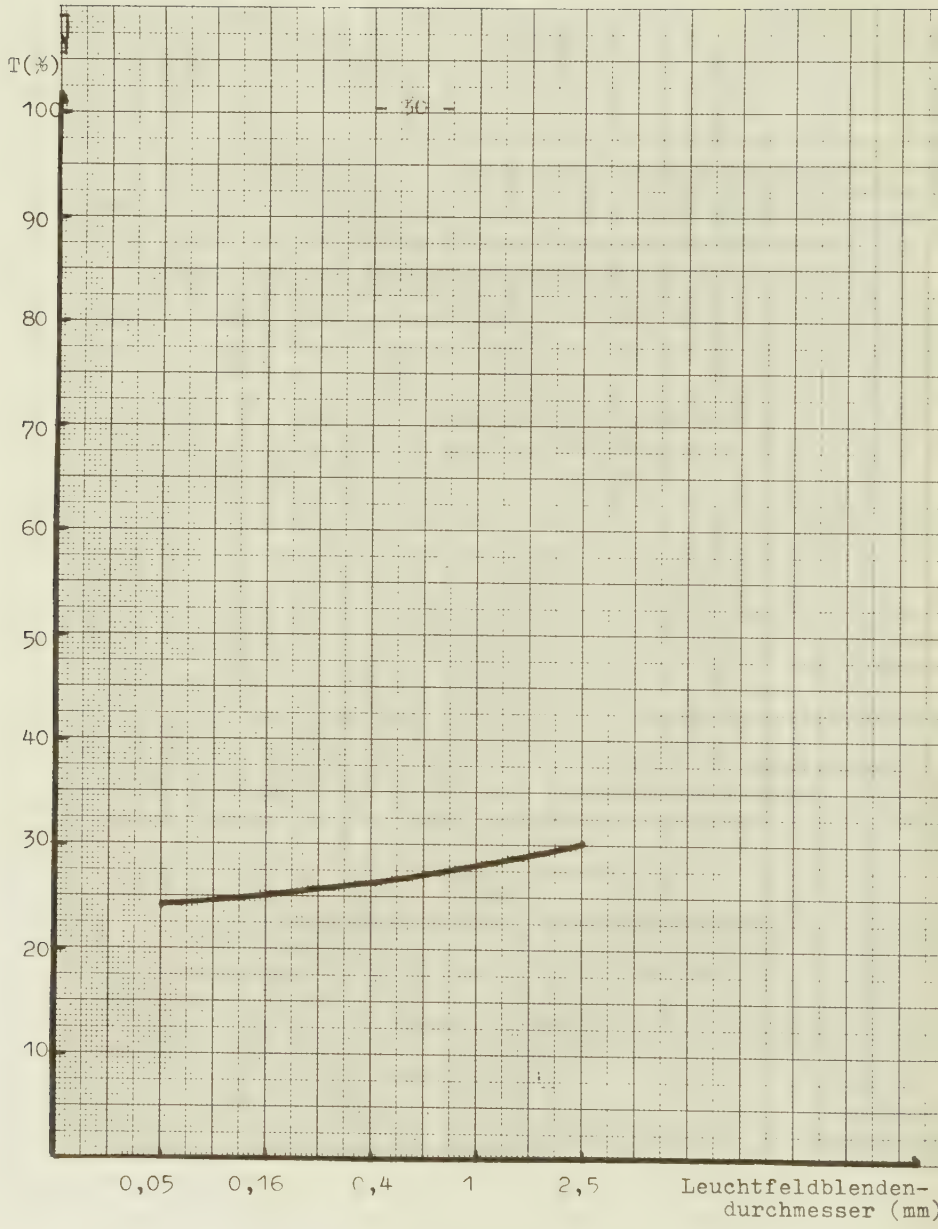


Abb.4 (Versuch 2.1.4.)
Transparenz einer roten Wollfaser im Transparenzminimum 560nm bei steigendem Leuchtfeldblendendurchmesser

Objektiv 40; Optovar 2;

2.1.5. Meßblende

Um eine passende Meßblendenwahl zu ermöglichen, werden folgende Versuche durchgeführt. In der Längsrichtung einer roten Wollfaser den Meßort verschiebend, wird im Transparenzminimum nacheinander 20mal mit einer kleinen, runden Meßblende die Absorption gemessen. An zwei verschieden dicken Wollfasern aus dem gleichen Gewebe und zwei blauen Kunstfasern werden in Querrichtung bei einer Wellenlänge die Absorptionswerte bestimmt, wobei die Wahl einer hohen Vergrößerung (Objektiv 100, Optovar 2) und einer sehr kleinen runden Meßblende eine je nach der Breite der Faser unterschiedlich große Anzahl von Meßorten auf der Faser ergibt. So können in der Querrichtung der Kunstfasern einmal 16 und einmal 10, in der der Wollfasern einmal 20 und einmal 10 Meßorte aneinandergereiht werden.

Die Inhomogenitäten in der Einfärbung ergeben in der Längsrichtung der roten Wollfasern sich voneinander unterscheidende Absorptionswerte (Abb. 5). Daraus läßt sich die Forderung ableiten, die Meßblende in Längsrichtung möglichst weit zu öffnen, um durch Integration eines großen Faserareals diese Inhomogenität wenigstens teilweise zu erfassen. Am besten wird dies durch eine kontinuierlich verstellbare Rechteckmeßblende erfüllt, da sie sich der Geometrie der Faser besser als eine Lochblende anpassen läßt. Damit die Rechteckmeßblende in Längsrichtung weit geöffnet werden kann, sollten außerdem nur gestreckt liegende Fasern ausgewertet werden. Bei den Messungen in Quer-

richtung der Woll- und Kunststoffasern ergeben sich starke Absorptionszunahmen an ihren Rändern (Abb. 6 und 7). Nur die Mitte der Faser als Ort annähernd gleichbleibender Schichtdicke sollte deshalb vom Meßfeld erfaßt werden, die schon mikroskopisch als dunkler erscheinenden Ränder müssen dagegen ausgespart werden.

Ein Vorteil der festen, runden Meßblenden des Meßblendenrevolvers gegenüber der in Längs- und Querrichtung kontinuierlich verstellbaren Rechteckmeßblende besteht darin, bei Vergleichsmessungen für alle Fasern die gleiche Meßblende verwenden zu können, um dadurch die Reproduzierbarkeit zu erhöhen. Dieser Vorteil wird wieder aufgehoben, wenn man bedenkt, daß sich diese Blenden nicht in Längsrichtung wie die Rechteckmeßblende verschieben lassen, Inhomogenitäten in der Einfärbung aber auch bei verschiedenen Fasern eines Gewebes, wie für die Längsrichtung der Faser beschrieben, vorhanden sind. Diese Inhomogenitäten kommen bei der starren, runden Meßblende, die ein viel kleineres Faserareal integriert, stärker zum Tragen als bei der Rechteckmeßblende.

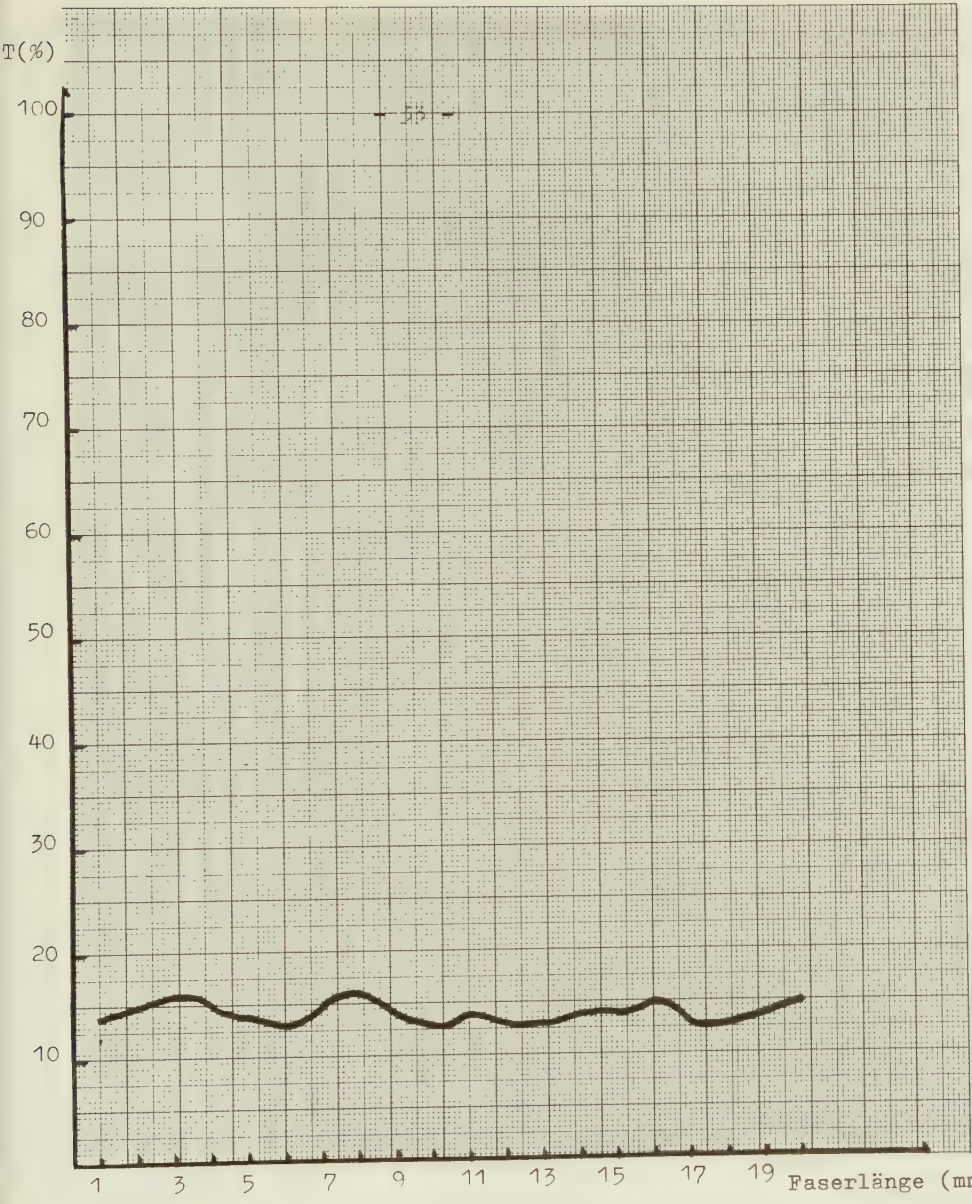


Abb.5 (Versuch 2.1.5.)
Messung in Längsrichtung einer roten Wollfaser in ihrem Transparenzminimum 540nm

Objektiv 25; Optovar 2;

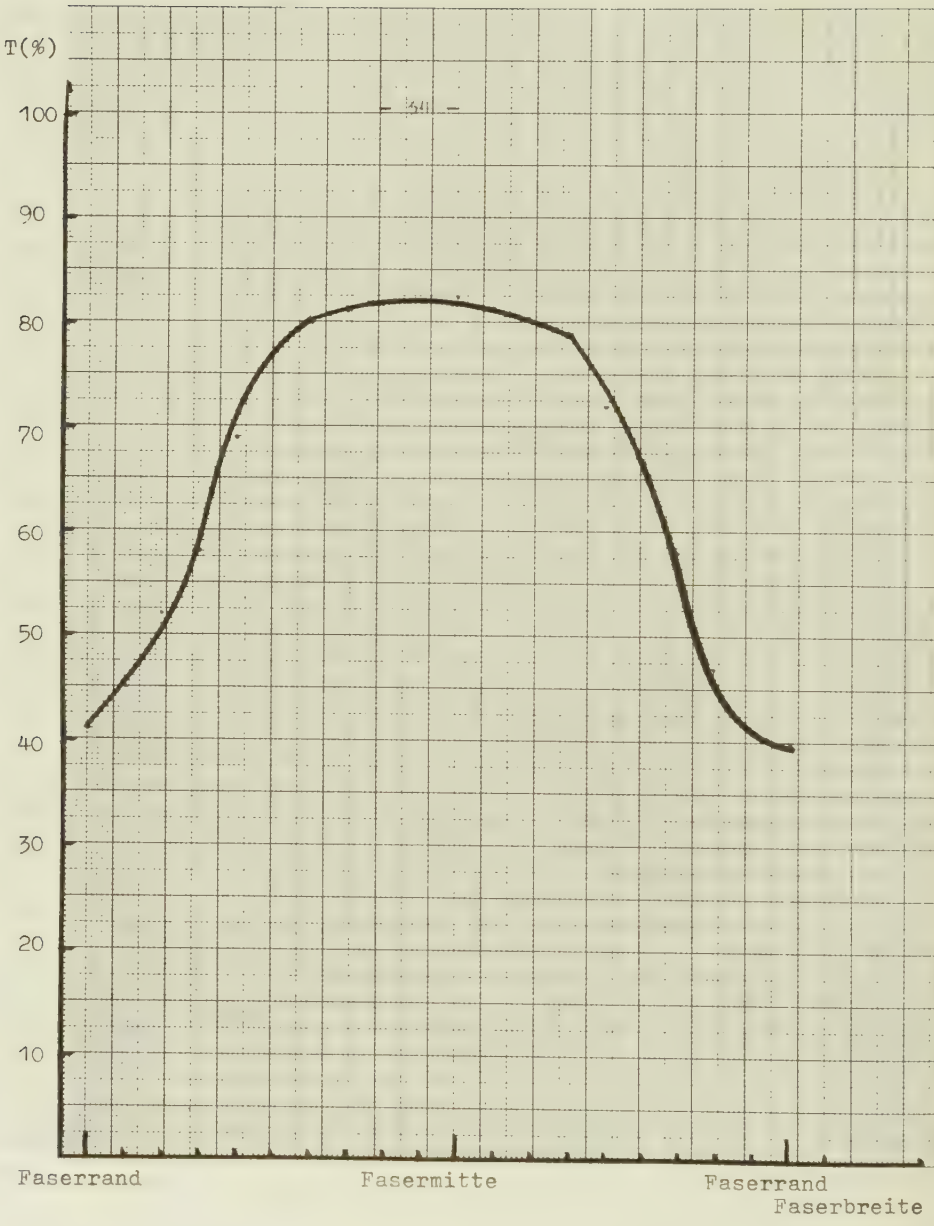


Abb.6 (Versuch 2.1.5.)
Messung in Querrichtung einer roten Wollfaser bei der Wellenlänge 600nm

Objektiv 100; Optovar 2;

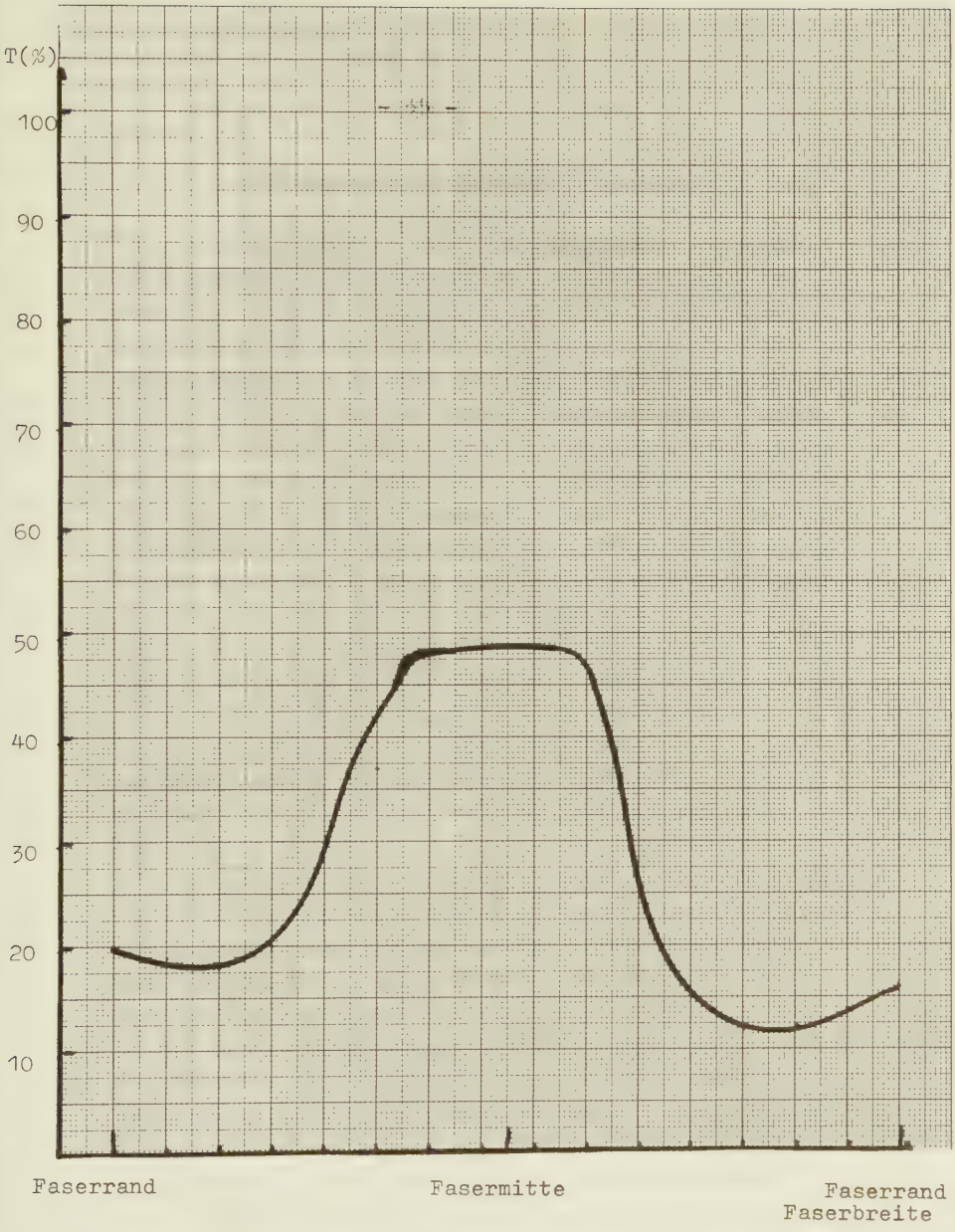


Abb.7 (Versuch 2.1.5.)
Messung in Querrichtung einer blauen Kunstfaser bei der Wellenlänge 500nm

Objektiv 100; Optovar 2;

3.1.6. Beleuchtungsapertur

Verändert man bei sonst gleichen Meßbedingungen die Apertur des Kondensors, so ändert sich die Absorption einer Faser bei einer Wellenlänge.

Aus diesem Grund verwenden wir einen Objektiv-Kondensor mit feststehender Apertur, wodurch bei Vergleichsmessungen die Reproduzierbarkeit gewährleistet wird. Der Objektiv-Kondensor besitzt noch einen weiteren Vorteil. Er bildet die Leuchtfeldblende in der Objektebene verkleinert ab. Je schärfer aber die Leuchtfeldblende abgebildet wird, desto geringer wird die Störung durch Streulicht.

2.1.7. Tubusschieberstellung

Ist der Tubusschieber ganz hineingedrückt (Rast am weißen Ring), wird alles Licht in den Tubus und ins Beobachterauge gelenkt. Wird der Schieber ganz herausgezogen (blanker Ring), tritt das Licht zur Messung senkrecht nach oben in den Photometeraufsatz, die Meßstelle kann im Einstellokular beobachtet werden, kein Licht geht dagegen in den Tubus. Steht der Schieber am roten Ring, kann im Einstellokular die Meßstelle, im Binokulartubus die Leuchtfeldblendenabbildung und die in ihrem Bereich liegende Faser und deren Umgebung gesehen werden. Hier beträgt der Lichtverlust gegenüber der Stellung, bei der das ganze Licht in den Photometeraufsatz gelenkt wird, 30 %. An Fasern werden mehrere Kurven bei beiden Tubusschieberstellungen (blanker und roter Ring) erstellt.

Es ergeben sich bei den Kurvenverläufen kaum Unterschiede, da der bei der Stellung "roter Ring" auftretende Lichtverlust in Objekt- und Leerstelle der gleiche ist und daher die Quotientenbildung I/I_0 nicht berührt. Wir empfehlen deshalb alle Messungen bei dieser Tubusschieberstellung durchzuführen, da während des Meßvorgangs im Binokulartubus die Lage der Faser zur Leuchtfeldblendenabbildung (s. 2.1.4.) beobachtet werden kann. Es ist dadurch möglich, immer die gleiche Objektstelle nach dem Wechsel von Leer- zu Objektstelle wiederzufinden, was unbedingt erforderlich für reproduzierbares Messen ist. Mißt man bei der Stellung "blanker Ring", muß zur Übersichtsbeobachtung und Kontrolle der richtigen Objektstellenlage während

während des Meßvorganges laufend auf die Tubusschieberstellung "weißer Ring" gewechselt werden, um das Licht in den Binokulartubus zu lenken. Das kostet Zeit und bringt keine Vorteile.

2.1.8. Chromatische Fokusdifferenz

Die Glaslinsenobjektive und der Objektivkondensor bedingen durch ihre chromatische Aberration eine Wanderung der Beobachtungsebene und des Leuchtfeldblendenabbildes im Objekt beim Wechsel der Wellenlänge (chromatische Fokusdifferenz). Um das Ausmaß dieser chromatischen Fokusdifferenz bei unserer Meßanordnung zu erfassen, werden mehrere verschieden dicke Natur- und Kunststoffasern bei den einstellbaren Wellenlängen durch den Binokulartubus betrachtet.

Die Wanderung der Fokussierungsebenen im Objekt ist so gering, daß sie mit dem Auge kaum wahrgenommen werden kann. Da wir außerdem zur Messung von Vergleichs- und am Tatort sichergestellten Faser immer das gleiche Objektiv und den gleichen Objektivkondensor verwenden und am Anfang der Messung bei den Fasern auf die gleiche Fokussierungsebene scharfstellen, ergibt sich bei den verschiedenen Wellenlängen eine reproduzierbare Wanderung der Fokussierungsebenen im Objekt. Es werden also annähernd gleiche Fokussierungsebenen in Vergleichs- und sichergestellter Faser für jede Wellenlänge vermessen. Ein etwaiger Meßfehler kann dadurch vernachlässigt werden. Eine Scharfstellung auf die gleiche Fokussierungsebene bei jeder neuen Wellenlänge ist bei uns nicht möglich, da hierfür die Lichtintensität im kurzwelligen Spektralbereich nicht ausreicht. Aus diesen Gründen genügt es für den Vergleich von Fasern, zu Beginn der Messung einmalig auf eine für Vergleichs- und sichergestellte Fasern gleiche Fokussierungsebene scharfzustellen.

2.1.9. Fokussierung

Wie bedeutsam es ist, auf welche Fokussierungsebene man bei Vergleichsmessungen scharfstellt, läßt sich durch folgende Versuche veranschaulichen. An roten Wollfasern werden Transparenzkurven von 700 bis 400 nm bei Messung in verschiedenen Fokussierungsebenen erstellt. Dabei wird einmal auf die Oberfläche fokussiert, bei der die Ränder der Faser dunkel erscheinen und scharf abgegrenzt sind, einmal wird auf eine Ebene fokussiert, in der die Faser sich homogen und ihre Ränder sich unscharf darstellen. In anderen Versuchen wird an einer blauen Kunststoffaser, einer roten Wollfaser und einer gelben Wollfaser jeweils in ihrem Transparenzminimum die Absorption in verschiedenen Fokussierungsebenen gemessen. Dabei wird von oben nach unten in der Faser fortschreitend mit dem Mikrometerfeintrieb in gleichen Abständen auf eine immer neue Fokussierungsebene scharfgestellt.

Die Transparenzkurven der roten Wollfaser zeigen bei der Fokussierung auf die Oberfläche im Gegensatz zur Fokussierung auf die Ebene, bei der die Faser homogen erscheint, eine Verschiebung in Richtung geringere Absorption (Abb. 8). Die Transparenzunterschiede zwingen aus Gründen der besseren Reproduzierbarkeit dazu, die Fokussierungsebene bei Vergleichsmessungen zu standardisieren. Bei Messung der Absorption im Transparenzminimum in verschiedenen Fokussierungsebenen fällt bei allen drei Fasern auf, daß die Absorption bis zu einem Plateau zunimmt, bei dem sie für verschiedene beieinanderliegende Fokussierungsebenen annähernd

gleich bleibt, um dann wieder kontinuierlich abzunehmen (Abb. 9). Dabei ergibt die Fokussierungsebene, bei der die Faser homogen und ihre Ränder unscharf erscheinen, immer eine Absorption, die auf dem Plateau hoher Absorption liegt. Wir empfehlen daher, zu Beginn aller Messungen auf diese Ebene scharfzustellen. Dadurch wird die Wahl der Fokussierungsebene standardisiert und eine leichte Verschiebung der Fokussierungsebene wirkt sich nicht so gravierend auf den Meßwert aus wie in den Fokussierungsebenen, die nicht mit ihrer Absorption auf dem Absorptionsplateau liegen.

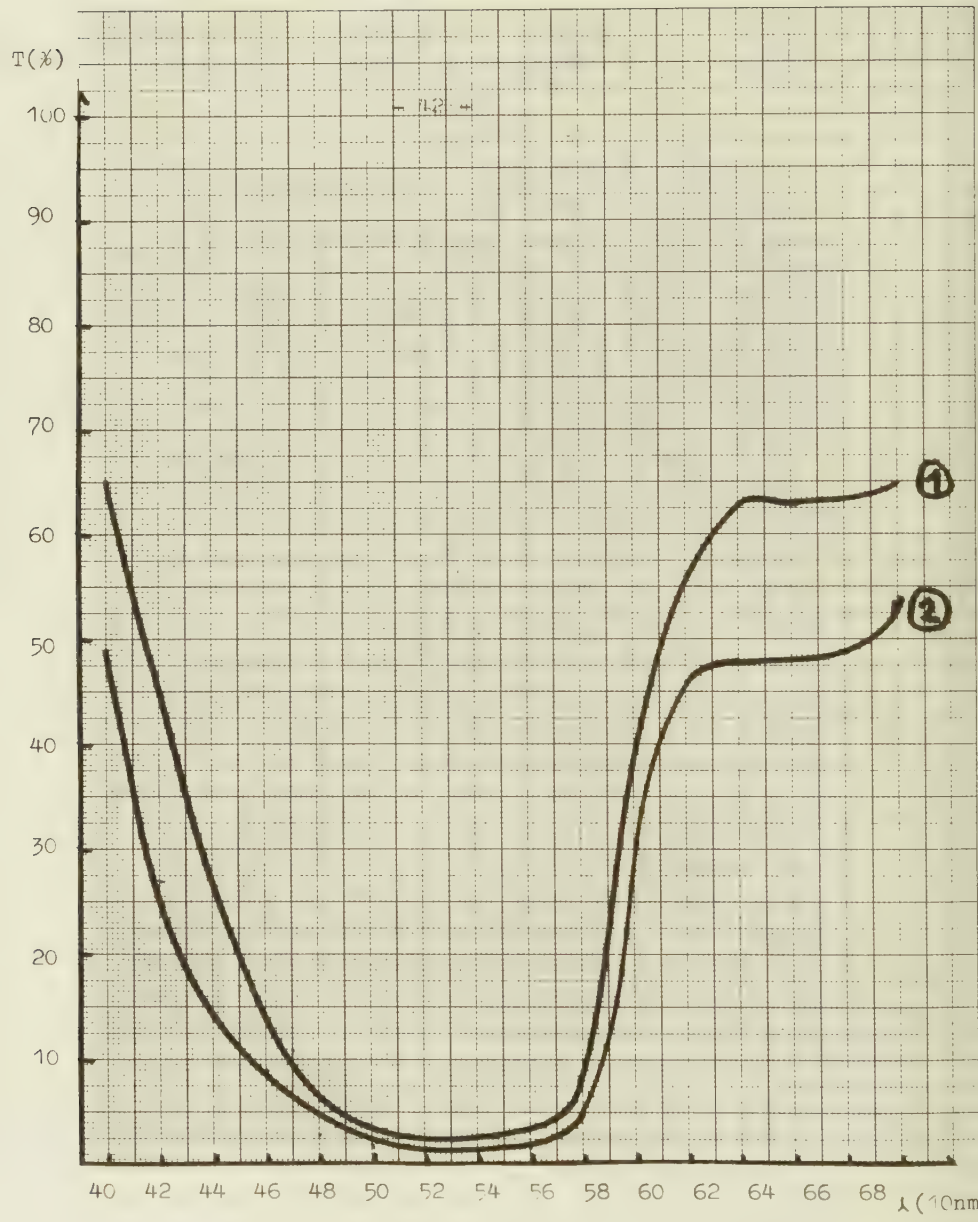


Abb.8 (Versuch 2.1.9.)
Transparenzkurven einer roten Wollfaser bei Messung in verschiedenen Fokussierungsebenen
(1) Ränder der Faser dunkel, scharf abgegrenzt;
(2) Faser homogen, Ränder unscharf;

Objektiv 40; Optovar 2;

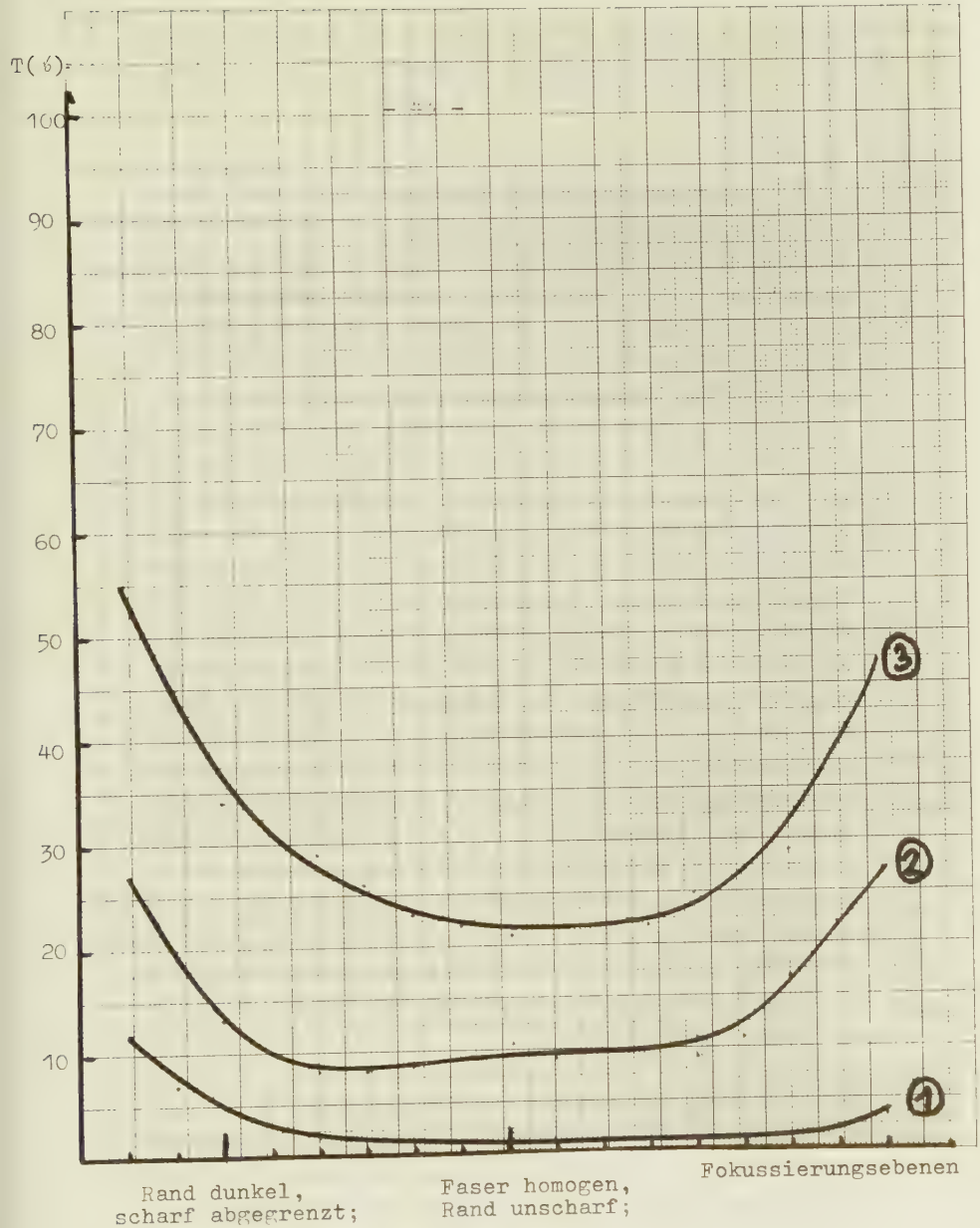


Abb.9 (Versuch 2.1.9.)
Messung im Transparenzminimum in verschiedenen Fokussierungsebenen
(1) Rote Wollfaser; 540nm; (2) Blaue Kunstfaser; 600nm;
(3) Gelbe Wollfaser; 460nm;

Objektiv 40; Optovar 2;

2.1.10. Meßwertänderung bei Benutzung verschiedener Objekttische

Mißt man nach der Meßmethode B (s. 1.4. Meßmethoden), muß man ständig, um eine Transparenzkurve zu erhalten, bei jeder Wellenlänge zwischen Leerstelle und Faser wechseln. Dies kann durch bloße Tischverschiebung erfolgen, wobei nach dem Einstellokular die richtige, schon vorher zur Messung benutzte Leer- und Objektstelle wieder aufgesucht wird. Es steht uns aber auch ein Point-Counter-Objekttisch zur Verfügung, mit dem durch Objektverschiebung mit Hilfe eines einrastenden Drehknopfes immer wieder die gleiche Objekt- und Leerstelle eingestellt wird. Dabei erübrigt sich das zeitraubende Aufsuchen der alten Objekt- und Leerstelle nach optischen Kriterien (z. B. Oberflächenstrukturen der Faser) im Einstellokular, das außerdem durch die geringe Beleuchtungsintensität im kurzwelligen Strahlenbereich erschwert wird. Um zu erfassen, wie reproduzierbar mit beiden Objekttischen die gleiche Objekt- und Leerstelle wiedergefunden werden kann, wird hintereinander bei Benutzung der beiden Objekttische die Absorption einer gelben Wollfaser in ihrem Transparenzminimum bei sonst gleichen Meßbedingungen gemessen. Die für jeden Objekttisch dabei auftretende Meßwertänderung ist für die Reproduzierbarkeit ein gutes Maß.

Bei Verwendung der Tischverschiebung ergibt sich eine durchschnittliche Meßwertänderung von $\pm$ 2,1 %, bedingt durch Fehler beim Wiederaufsuchen der Objekt- und Leerstelle nach subjektiven Kriterien. Bei Verwendung des Point-Counter-Objekttisches wird nur eine durchschnitt-

liche Meßwertänderung von ± 0,9 % gefunden, weshalb die Benutzung dieses Tisches der besseren Reproduzierbarkeit, leichteren Handhabung und der Zeitersparnis wegen zu empfehlen ist.

2.2. Wahl der Meßmethode

Welche Meßmethode (s. 1.4. Meßmethoden) bei dem uns zur Verfügung stehenden Instrumentarium die günstigste ist, ergibt sich zwingend aus der Wahl der Meßbedingungen.

Verglichen werden die Meßmethoden A und B. Bei Meßmethode A wird in einer Leerstelle bei jeder Wellenlänge die Intensität I_0 gemessen und am Schreiber aufgezeichnet. Zur Messung der Intensität I wird für jede interessierende Wellenlänge in einer Objektstelle dieser Vorgang wiederholt. Die Transparenzkurve in Prozent errechnet sich durch Division von I durch I_0 und Multiplikation mit 100 bei jeder Wellenlänge. Bei Meßmethode B wird zuerst durch Messung in der Leerstelle für eine Wellenlänge am Schreiber der I_0-Wert auf den Wert 100 (T = 100 %) eingestellt. Darauf wird bei Messung im Objekt die Transparenz der Faser in Prozent direkt am Schreiber markiert. Die Verbindung der einzelnen Transparenzwerte in Prozent für jede Wellenlänge ergibt die Transparenzkurve der Faser.

Meßmethode B besitzt, wie schon im literarischen Teil ausgeführt, folgende Vorteile gegenüber Meßmethode A. Die Transparenzkurve wird direkt erhalten, die Verrechnung der zwei relativen Spektren entfällt. Für Objekt- und Leerstelle bleibt die Monochromatorstellung die gleiche; Einstellfehler, die ein Transparenzmaximum oder -minimum vortäuschen können, sind nicht möglich. I_0 erreicht für jede Wellenlänge den Wert 100 %, die Empfindlichkeit des Meßinstrumentes wird

also über den gesamten Spektralbereich ausgenutzt. Dem Zeitgewinn durch den Wegfall der rechnerischen Auswertung bei Meßmethode B steht der höhere Zeitaufwand für die Ausführung von mehr Handgriffen wegen des ständigen Objekt-Leerstellenwechsels gegenüber. Insgesamt erfordert bei unserer Meßanordnung die Erstellung von Transparenzkurven nach Meßmethode B weniger Zeit.

Den einzigen Nachteil der Meßmethode B gegenüber Meßmethode A bringt der ständige Wechsel zwischen Leerstelle und Faser bei jeder Wellenlänge mit sich. Dieser kann jedoch durch eine günstige Wahl der Meßbedingungen auf ein Minimum reduziert werden. So erlaubt es der Point-Counter-Objekttisch durch Drehen des einrastenden Knopfes ziemlich sicher immer wieder, die gleiche Objekt- und Leerstelle bei jeder Wellenlänge einzustellen (siehe 2.1.10 Meßwertänderung bei Benutzung verschiedener Objekttische). Dies ist wichtig, da jede Veränderung der Meßorte eine Änderung des Transparenzwertes bedingt. Außerdem ist es durch die Wahl einer runden Leuchtfeldblende, deren Abbildung genau den kurzen Seiten des rechteckigen Meßfeldes anliegt, ermöglicht, die Lage der Faser zur Leuchtfeldblendenabbildung durch den Binokulartubus zu überprüfen. Daraus kann auf das Meßfeld, das im Einstellokular sichtbar ist, geschlossen werden (siehe 2.1.4. Leuchtfeldblende). Eine direkte Überprüfung des Meßfeldes im Einstellokular ist weniger günstig, da hier die Umgebung der Faser nicht beleuchtet werden kann. Der Tubusschieber muß am ro-

ten Ring stehen, da nur in dieser Stellung Licht zur Messung in den Photometeraufsatz und zur Übersichtsbeobachtung in den Binokulartubus gelangt (siehe 2.1.7. Tubusschieberstellung). Im kurzwelligen Spektralbereich wird die visuelle Überprüfung der Point-Counter-Rückstellgenauigkeit wegen der geringen Beleuchtungsintensität erschwert. Wird die Meßblende in Längsrichtung weit geöffnet (siehe 2.1.5. Meßblende), so wird über ein größeres Faserareal integriert. Dabei wirkt sich eine geringe Verschiebung des Meßortes durch Fehler in der Rückstellgenauigkeit des Point-Counter-Objekttisches weniger auf den Transparenzwert aus, als wenn nur ein kleines Faserareal ausgemessen wurde. Hier würden Inhomogenitäten der Fasereinfärbung in der Längsrichtung der Faser den Meßwert stärker beeinträchtigen.

2.3. Meßergebnisse bei verschiedenen Faserfärbungen

2.3.1. Identische Einfärbung unterschiedlicher Fasersorten

Um zu erfassen, ob nur die Einfärbung, oder ob auch die Faserart und die unterschiedliche chemische Verbindung der Farbstoffe mit der jeweiligen Faser einen Einfluß auf den Verlauf von Transparenzkurven im Wellenlängenbereich von 700 - 400 nm haben, wurde die identische Einfärbung von verschiedenen Fasersorten veranlaßt. Dabei wurden Transparenzkurven von Fasern der folgenden Gewebe erstellt: sauerweinrot gefärbte Wolle und Polyamidgewebe, gelbgefärbte Zell- und Baumwolle, grüngefärbtes Polyamid-, Polyester- und Polyacrylnitrilgewebe.

Bei den sauerweinrot gefärbten Fasern wird makro- und mikroskopisch die identische Einfärbung erkenntlich. Die Wollfasern sind aber intensiver angefärbt als die Polyamidfasern. Dieser visuelle Eindruck bestätigt sich auch in den Transparenzkurven (Abb. 10). Die Kurven der Woll- und Polyamidfasern zeigen einen annähernd parallelen Verlauf, wobei die Wollfasern über den gesamten Wellenlängenbereich mehr Licht absorbieren. So reicht das Absorptionsplateau der Wollfasern von 440 - 580 nm, das der Polyamidfasern nur von 500 bis 560 nm. Verschiebungen der Transparenzminima sind nicht zu erkennen.

Die gleich gelb gefärbten Zell- und Baumwollfasern erscheinen schon makroskopisch im Stoffverband unterschiedlich. Die Zellwolle macht einen dunkleren und kräftiger gefärbten Eindruck. Mikroskopisch zeigen ihre Fasern eine orange-gelbliche Färbung, die Baumwollfasern sehen hier mehr durchsichtig und gelbgrünlich aus. Diese Unterschiede schlagen sich auch in den Transparenzkurven nieder (Abb. 11). Die Baumwollfasern absorbieren weniger Licht und ihre Spektralkurven sind in den Bereich des kurzwelligen Lichtes verschoben. So liegt das Transparenzminimum der Zellwollfasern bei 460 nm, das der Baumwollfasern bei 440 nm.

Auch die drei mit dem gleichen Grün gefärbten Fasern sind schon im Stoffverband leicht zu unterscheiden. Das Polyestergewebe ist intensiver angefärbt als das Polyamidgewebe, dieses wiederum stärker als das Polyacrylnitrilgewebe. Im Mikroskop erscheinen die Polyester- und Polyamidfasern dunkelgrün, die Polyacrylnitrilfasern schwach gefärbt und ziemlich durchsichtig. Dennoch lassen die Transparenzkurven von Fasern aller drei Gewebe einen annähernd parallelen Verlauf erkennen (Abb. 12). Die Transparenzunterschiede entsprechen der schon makroskopisch sichtbaren verschiedenen Anfärbungsintensität. Teilweise differieren die Transparenzminima und -maxima der Kurven der drei Fasersorten (Tab. 1).

	Transparenz-minima (nm)	Transparenz-maxima (nm)
Polyamid	440 / 600 / 640	500 / 620
Polyester	440 / - / 640	500 / -
Polyacrylnitril	440 / - / 620	480 / -

Tab. 1: Transparenzminima und -maxima gleich grün gefärbter Polyamid-, Polyester- und Polyacrylnitrilfasern

Insgesamt kann als Ergebnis der Messungen festgehalten werden, daß alle mit dem gleichen Farbstoff eingefärbten Fasern einen annähernd parallelen Kurvenverlauf aufweisen. Meist schon makroskopisch feststellbare Differenzen in der Farbintensität schlagen sich in Transparenzunterschieden der Kurvenverläufe der jeweiligen Fasern nieder. Gleich eingefärbte Faserarten können verschiedene Farbnuancen zeigen. Die Kurvenverläufe können dann in ihren Transparenzminima und Transparenzmaxima variieren. Die Fasern werden auch im Spektralbereich von 400 - 700 nm "mikrospektralphotometrisch unterscheidbar".

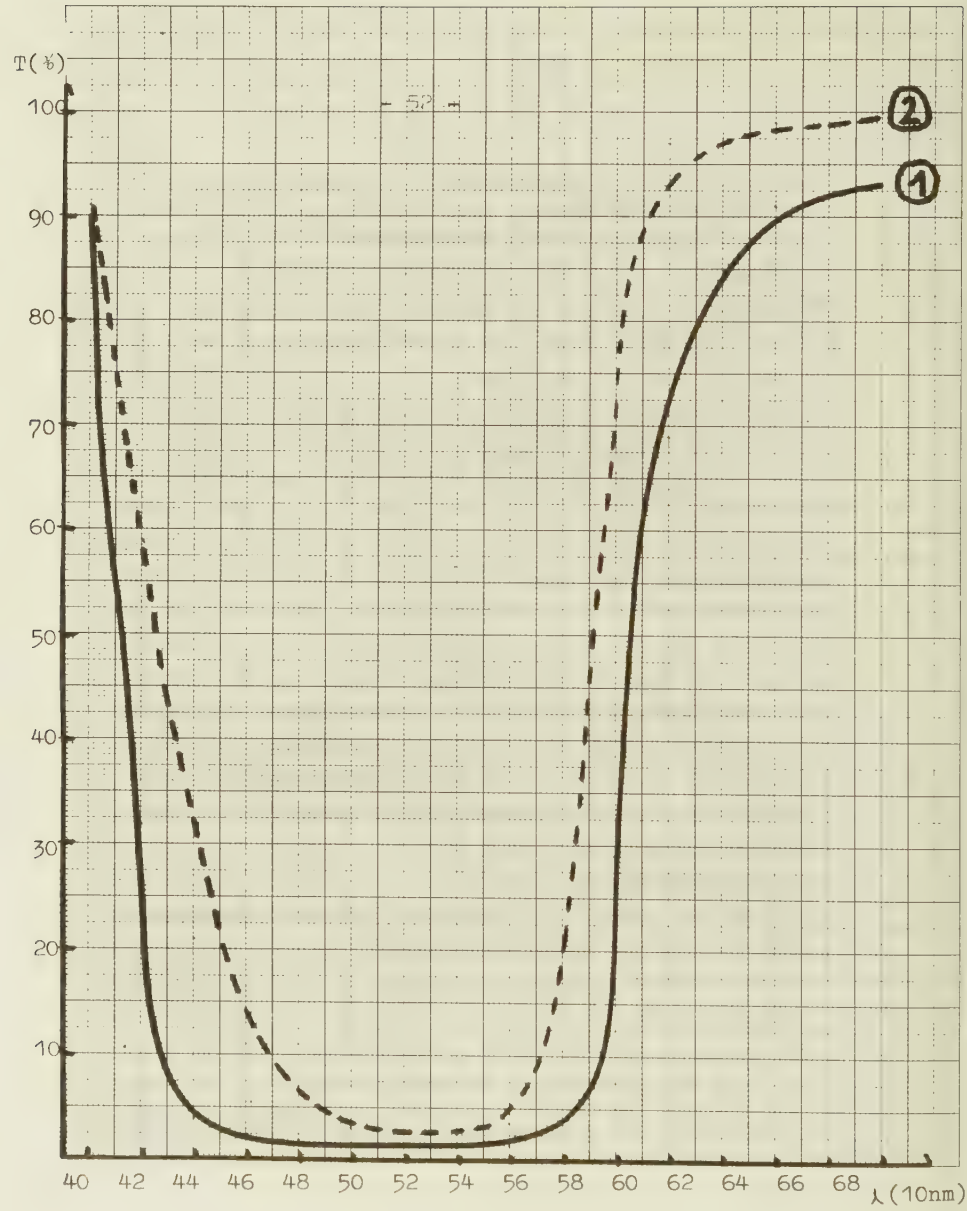


Abb.10 (Versuch 2.3.1.)
Sauer weinrot gefärbte Fasern
(1) Wollfasern
(2) Polyamidfasern

Objektiv 40; Optovar 2;

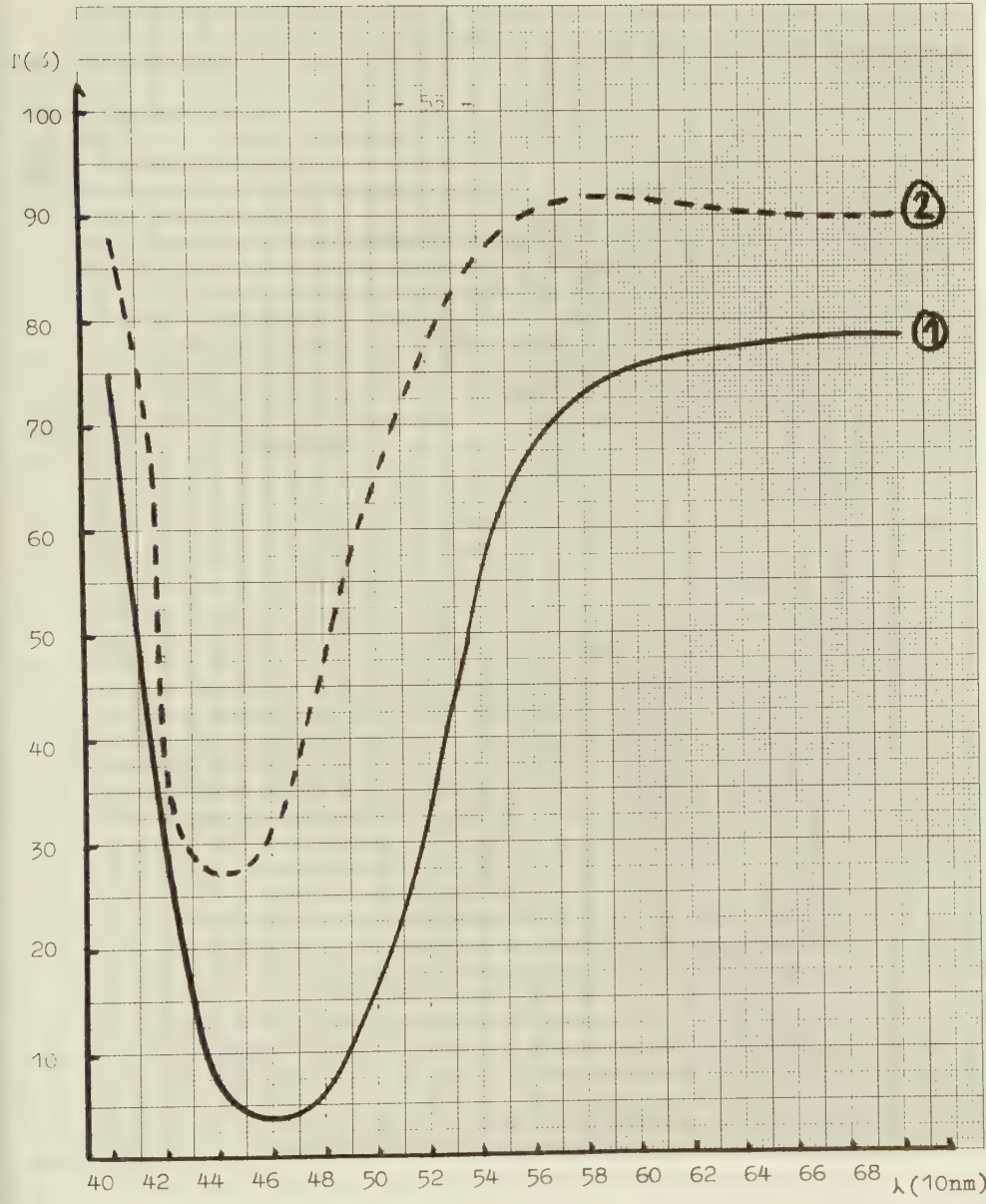


Abb.11 (Versuch 2.3.1.)
Gelbgefärbte Fasern
(1) Zellwollfasern
(2) Baumwollfasern

Objektiv 40; Optovar 2;

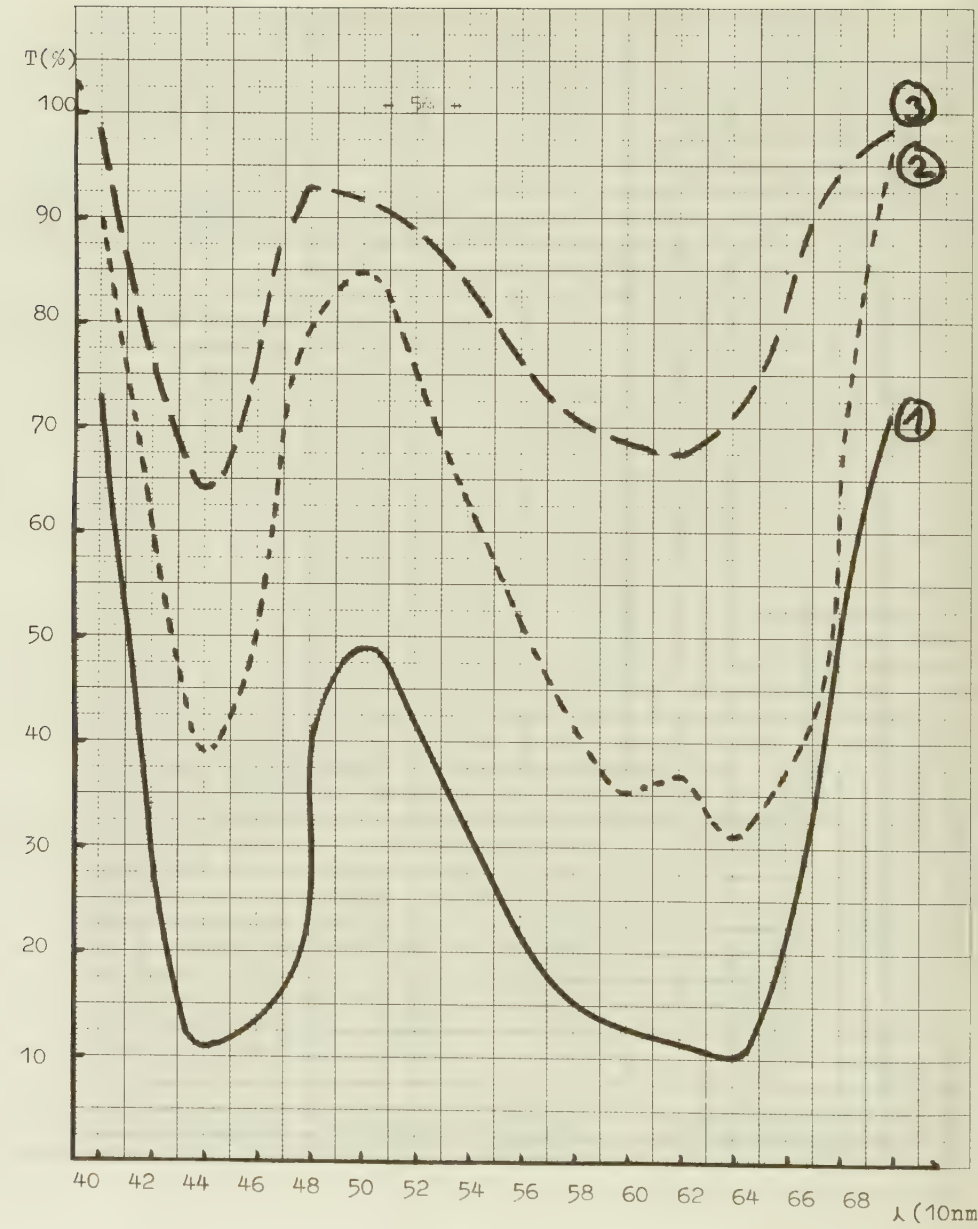


Abb.12 (Versuch 2.3.1.)
Grüngefärbte Fasern
(1) Polyesterfasern; (2) Polyamidfasern; (3) Polyacrylnitrilfasern ;

Objektiv 40; Optovar 2;

2.3.2. Messung an Fasern mit "kritischen" Einfärbungen

2.3.2.1. Schwarze Fasern

Die erste Frage, die sich in Bezug auf die Messung von schwarzen Fasern stellt, ist die, ob mit unserem Instrumentarium überhaupt gut differenzierte Spektralkurven von Fasern zu gewinnen sind, die vom Auge kaum bewertet werden können. Lassen sich typische Kurven erhalten, dann fragt sich, ob Spektren schwarz gefärbter Fasern so deutliche Unterschiede aufweisen, daß sie als Indizien Verwendung finden können. Um hierauf eine Antwort zu finden, werden Fasern folgender schwarzer Gewebe vermessen: Baumwolle, Reyon, Filz (Reine Schurwolle), Körperloden (Reine Schurwolle), Meltontuch (Reine Schurwolle), Kammgarn drape (Reine Schurwolle) und drei andere Gewebe mit schwarzen Schurwollfasern.

Obwohl alle neun Gewebe makroskopisch gleich schwarz aussehen, können sie mikroskopisch in zwei Gruppen eingeteilt werden. Die Fasern der ersten drei Gewebe erscheinen hier eher grau und transparenter, die Fasern der restlichen Gewebe sind dagegen tiefschwarz und lassen kaum Licht durch. Die mikrospektralphotometrisch vermessenen Spektren der Baumwoll-, Reyon- und Filzfasern ergeben gut differenzierte Spektralkurven (Abb. 13). Alle drei verlaufen annähernd parallel. Die Kurven der Baumwoll- und Reyonfasern zeigen nur einen geringen Transparenzunterschied, an-

sonsten ist ihr Verlauf der gleiche: Transparenzminimum bei 580 nm, charakteristischer leichter Anstieg bis 440 nm und dann starke Transparenzzunahme. Die Kurven der Filzfasern haben als einzigen Unterschied das Transparenzminimum bei 620 nm. Die Transparenzkurven der tiefschwarzen Fasern besitzen erwartungsgemäß ein langes Plateau hoher Absorption. Dennoch sind die Charakteristica der vorherigen drei Kurven noch erkenntlich. Auch hier verlaufen die sechs Kurven parallel. Die Transparenzkurven der Fasern des Körperlodens, des Meltontuches, des Kammgarn Drapé und eines anderen Schurwollgewebes zeigen ein Transparenzminimum bei 620 nm, dann folgt ein leichter Anstieg bis 440 nm und hier eine starke Transparenzzunahme (Abb. 14). Die Kurven der Fasern der anderen beiden Schurwollgewebe haben ihr Transparenzminimum bei 580 nm (Abb. 15). Als Ergebnis kann festgehalten werden, daß schwarze Fasern bei unserem Instrumentarium trotz der gut differenzierten Spektralkurven wegen des unabhängig von der Fasersorte parallelen bis nahezu identischen Kurvenverlaufs kaum Beweiswert besitzen.

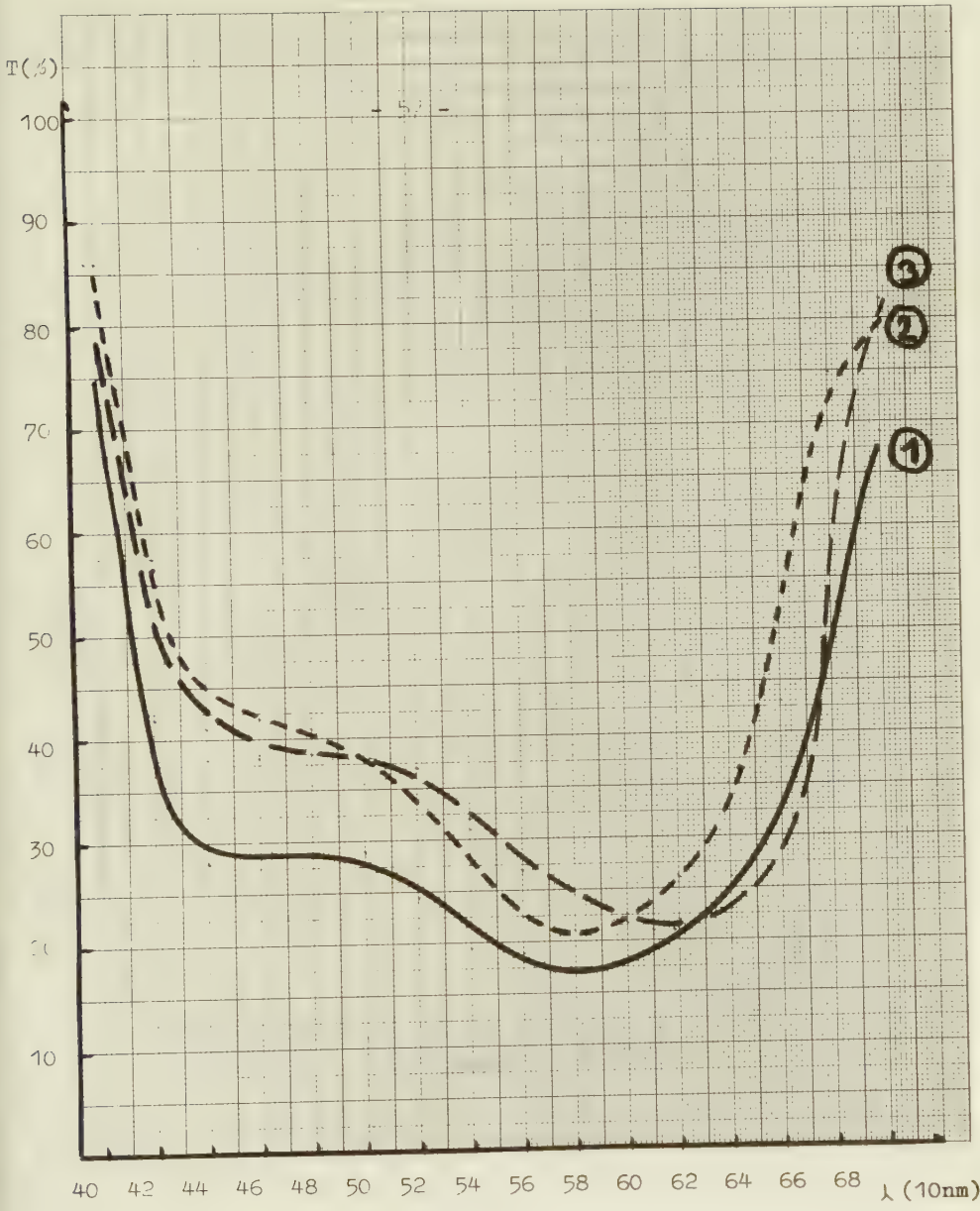


Abb.13 (Versuch 2.3.2.1.)
Schwarzgefärbte Fasern
(1) Reyonfasern; (2) Baumwollfasern; (3) Schurwollfasern (Filz);

Objektiv 40; Optovar 2;

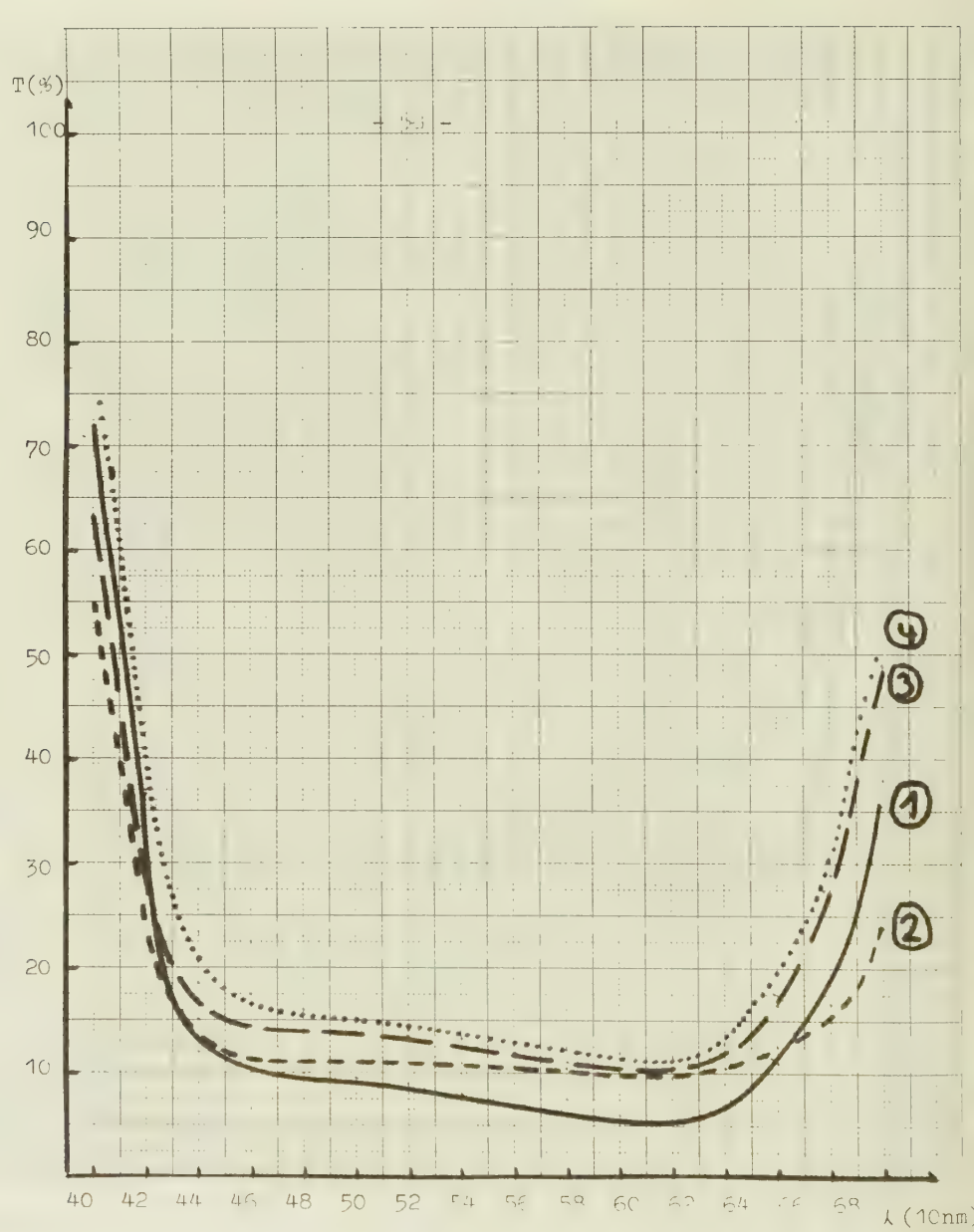


Abb.14 (Versuch 2.3.2.1.)
Schwarzgefärbte Fasern
(1) Schurwollfasern (Kammgarn Drapé); (2) churwollfasern
(3) Schurwollfasern (Meltontuch); (4) Schurwollfasern
(Körperloden);

Objektiv 40; Optovar 2;

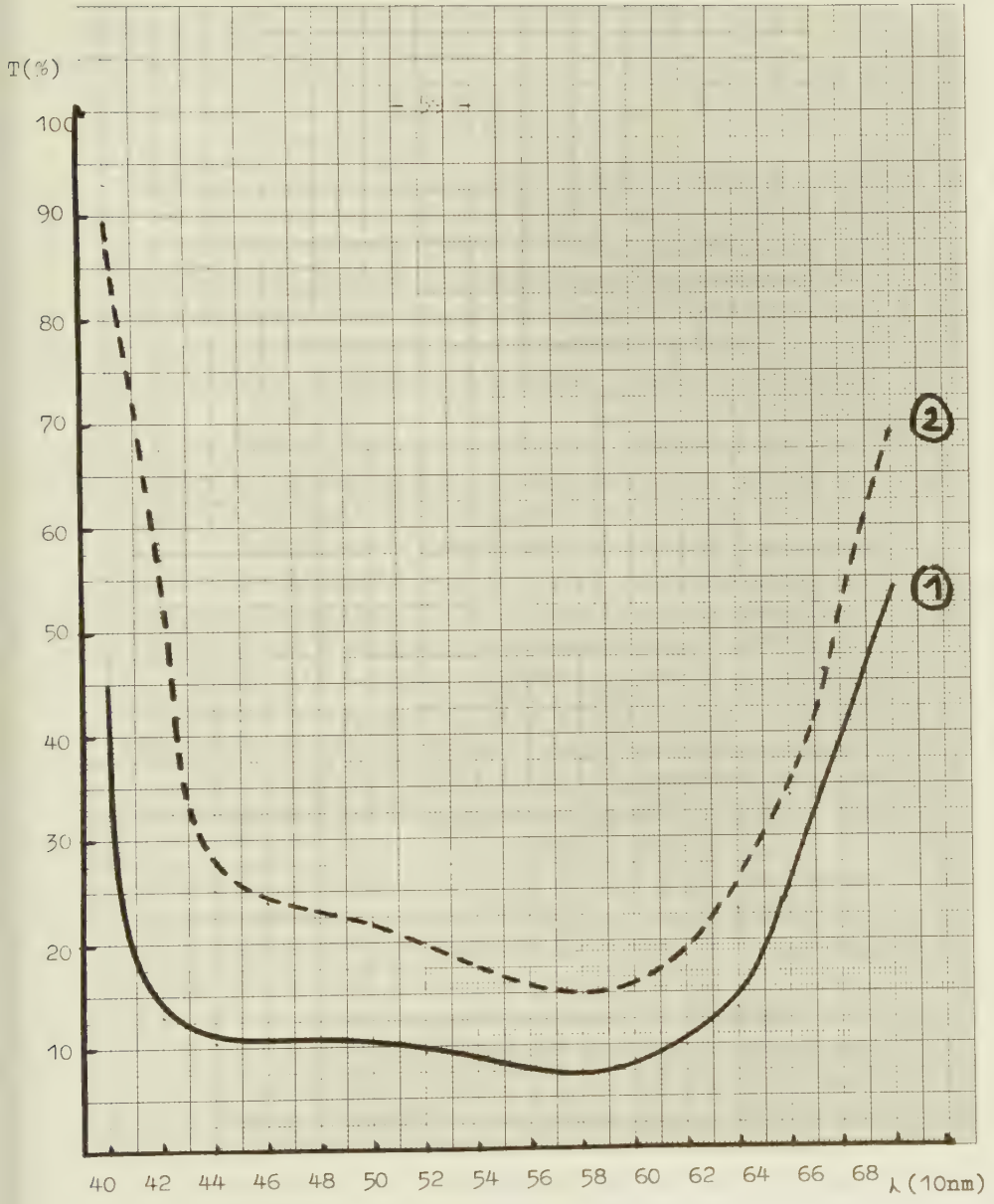


Abb.15 (Versuch 2.3.2.1.)
Schwarzgefärbte Fasern
(1) Schurwollfasern
(2) Schurwollfasern

Objektiv 40; Optovar 2;

2.3.2.2. Graue Fasern

Um zu erfahren, welche Beweiskraft graue Fasern bei der Vermessung mit unserem Instrumentarium besitzen, werden Transparenzkurven von Fasern folgender grauer Gewebe erstellt: Kammgarn Trikot (Reine Schurwolle), Futtersatin (Reyon), Baumwoll-Pocketing, Dralongewebe, Baumwolle.

Fasern der ersten drei Gewebe, die mikroskopisch ziemlich transparente Grautöne aufweisen, ergeben bei der Vermessung folgende Kurvenverläufe (Abb. 16):
Die Transparenzkurven der Fasern des Futtersatins und Baumwoll-Pocketings besitzen ein Transparenzminimum bei 600 nm, die der Fasern des Kammgarn Trikot eines bei 580 nm. Von diesen Maxima an steigen die Kurven leicht an bis 440 nm, um dann in eine starke Transparenzzunahme überzugehen. Auffallend ist die Parallelität der Kurvenverläufe zu denen der schwarzen Fasern. Nur sind hier erwartungsgemäß die Kurven transparenter.

Die Fasern des grauen Dralongewebes sehen in der mikroskopischen Übersicht grau-bräunlich aus. Demzufolge entspricht der Kurvenverlauf nicht dem der anderen grauen und der schwarzen Fasern. Die Kurve fällt in einer gleichmäßig gebogenen Form von 400 nm ab bis zum Transparenzminimum bei 560 nm, um dann wieder ebenso gleichmäßig bis 700 nm aufzusteigen (Abb. 17). Als fünftes graues Gewebe werden hellgraue Baumwollfasern vermessen, die mikroskopisch so transparent sind, daß sie nur an ihren Rändern von der Referenzstelle zu unterscheiden sind. Die mikrospektralphoto-

metrische Messung ergibt einen nicht reproduzierbaren, uncharakteristischen Verlauf der Kurve (Abb. 17). Sie zeigt eine hohe Transparenz mit minimalen Transparenzunterschieden zwischen den Wellenlängen. Extrema sind nicht erkenntlich, nur zufällige Schwankungen um einen Mittelwert. Die Kurve läßt sich einem bestimmten Farbstoff nicht zuordnen.

Somit ergibt sich die Feststellung, daß die Beweiskraft von grauen Fasern, solange sie nicht unterschiedliche Farbnuancen aufweisen, wegen der Ähnlichkeit untereinander und mit schwarzen Fasern nur gering zu veranschlagen ist. Ab einer bestimmten Transparenz sind Kurven grauer Fasern überhaupt nicht mehr zu bewerten.

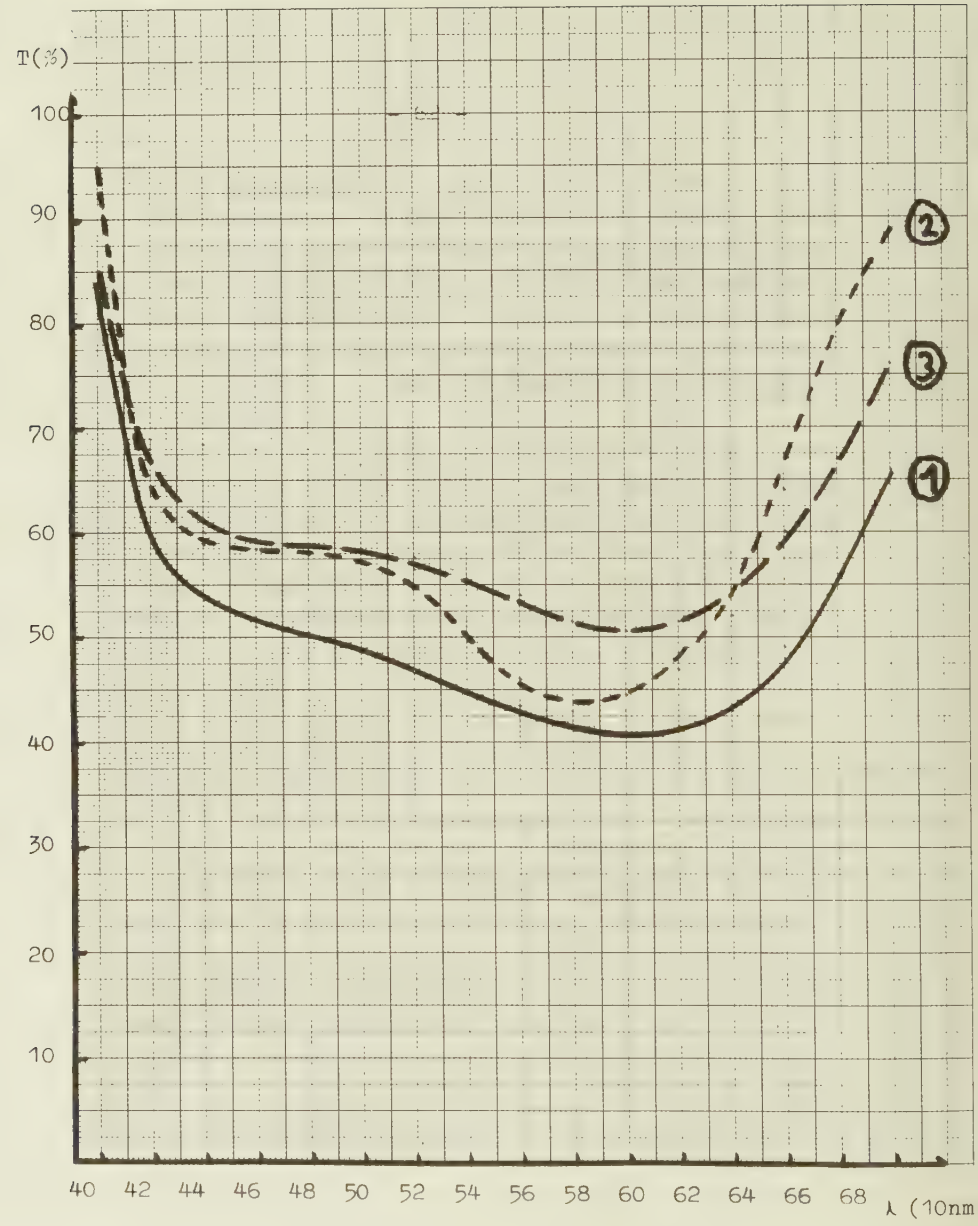


Abb.16 (Versuch 2.3.2.2.)
Grau gefärbte Fasern
(1) Baumwollfasern (Pocketing); (2) Schurwollfasern (Kammgarn Trikot); (3) Reyonfasern (Futtersatin);

Objektiv 40; Optovar 2;

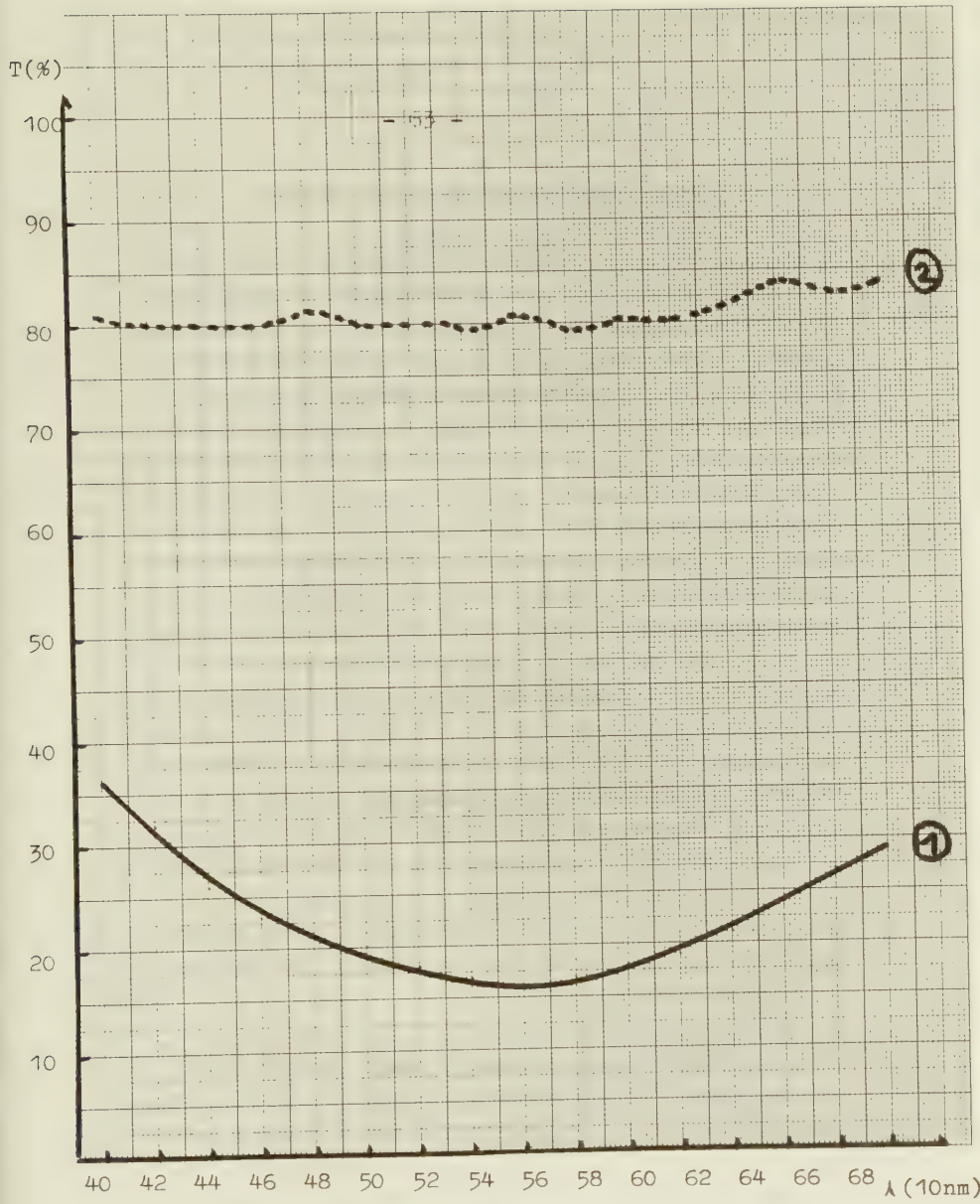


Abb.17 (Versuch 2.3.2.2.)

Grau gefärbte Fasern	Objektiv	Optovar
(1) Dralonfasern	40	2
(2) Baumwollfasern	100	2

2.3.2.3. Schwachgefärbte und farblose Fasern

An Fasern, die eine geringe Farbsättigung aufweisen, gilt es zu untersuchen, ob noch reproduzierbare Transparenzkurven erstellt werden können. Auch stellt sich die Frage, inwieweit schon mikroskopisch beurteilt werden kann, ob schwach gefärbte Fasern noch ausgeprägte Spektren liefern oder nur irrelevante Banden ohne Zuordnung zu ihrem Farbstoff. Zu diesem Zweck werden Fasern folgender Gewebe vermessen: hellbrauner Wollplüsch (Reine Schurwolle), kamelhaarfarbener Damenvelours (Reine Schurwolle), rosa Wolldeckenstoff (Reine Schurwolle), hellblaues Perlongewebe, hellgrüne Wolle und hellgelber Popeline-Baumwollmantel. Zum Vergleich werden noch ungefärbte Fasern (Polyamid-, Baumwoll- und Zellwollfasern) photometriert.

In dem braunen Wollplüsch können Fasern mit unterschiedlicher Farbsättigung ausgemacht werden. Die dunkleren ergeben ein gut ausgeprägtes Spektrum. Aber auch die helleren Fasern, die im Mikroskop fast total transparent erscheinen, zeigen einen zu den dunkleren Fasern parallelen, charakteristischen Verlauf. Nur ist er in den Bereich höherer Transparenz verschoben (Abb. 18).

Auch die Fasern des kamelhaarfarbenen Damenvelours und des rosa Wolldeckenstoffes zeigen im Gewebe einen noch ausgeprägten Farbton, der in der mikroskopischen Übersicht jedoch einer völligen Transparenz weicht. Der Farbstoff ist hier nicht zu erkennen. Dennoch lassen sich noch reproduzierbare Kurven erstellen (Abb. 19).

An die Grenze der Mikrospektralphotometrie stößt man allerdings bei der Vermessung der Fasern des hellblauen Perlongewebes, der hellgrünen Wolle und des hellgelben Popeline-Baumwollmantels. Trotz der im Stoffverband gut auszumachenden Färbung sehen diese Fasern mikroskopisch wie ungefärbte Fasern aus. Auch in der mikrospektralphotometrischen Messung gleichen sie diesen. Man erhält wie bei den ungefärbten Polyamid-, Baumwoll- und Zellwollfasern und den hellgrauen Baumwollfasern (s. 2.3.2.2.) uncharakteristische, unreproduzierbare Spektren hoher Transparenz. Zwischen den einzelnen Wellenlängen bestehen nur geringe Transparenzunterschiede, eindeutige Kurvenverläufe mit ausgeprägten Maxima und Minima sind nicht auszumachen.

Insgesamt läßt sich an der Vermessung von Fasern mit geringer Farbsättigung erkennen, daß noch gut ausgeprägte Spektren zu erhalten sind, auch wenn mikroskopisch kein Farbton mehr unterschieden werden kann.

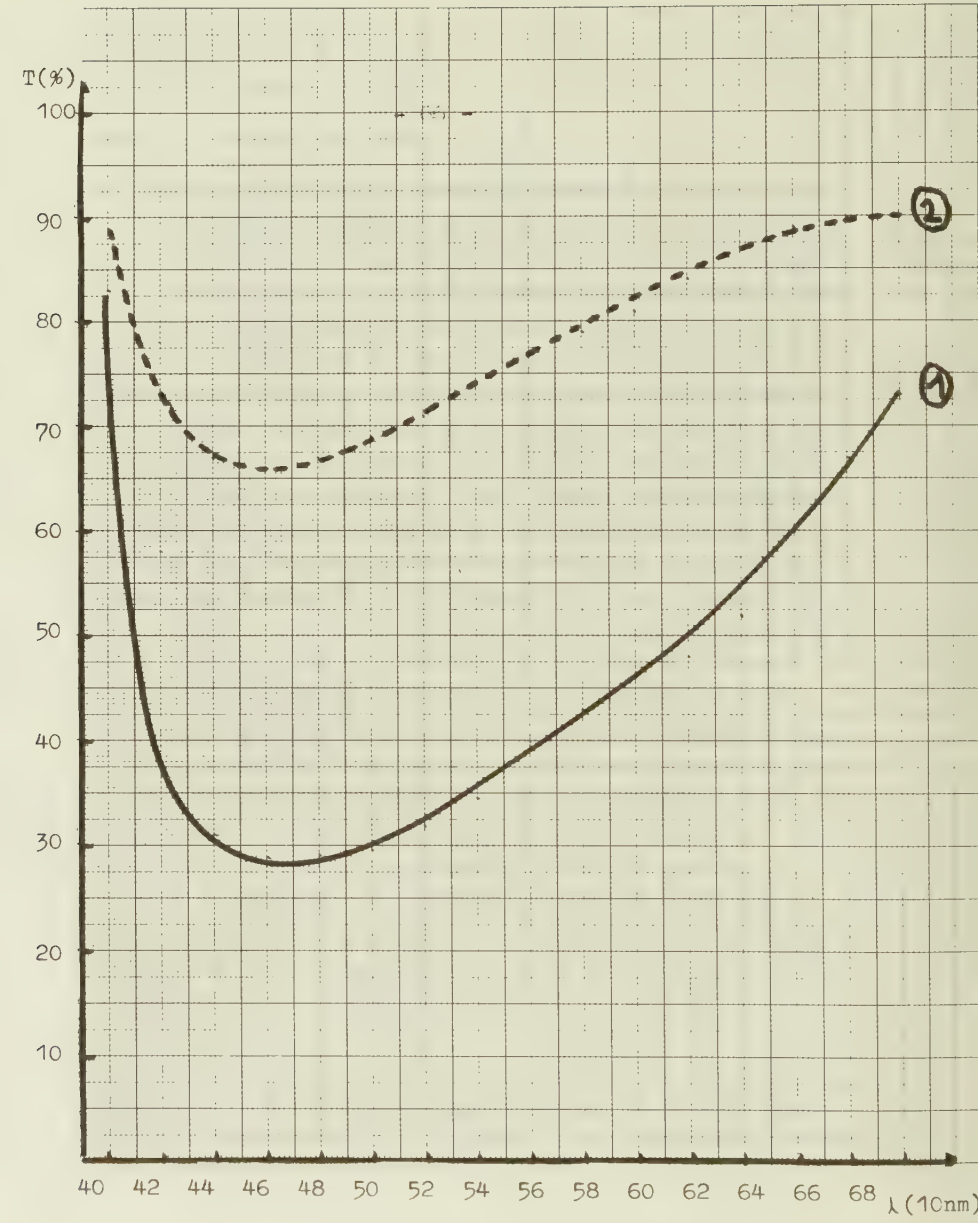


Abb.18 (Versuch 2.3.2.3.)
Schwachgefärbte Fasern
(1) dunkle Schurwollfasern (hellbrauner Wollplüsch)
(2) helle Schurwollfasern (hellbrauner Wollplüsch)

Objektiv 40; Optovar 2;

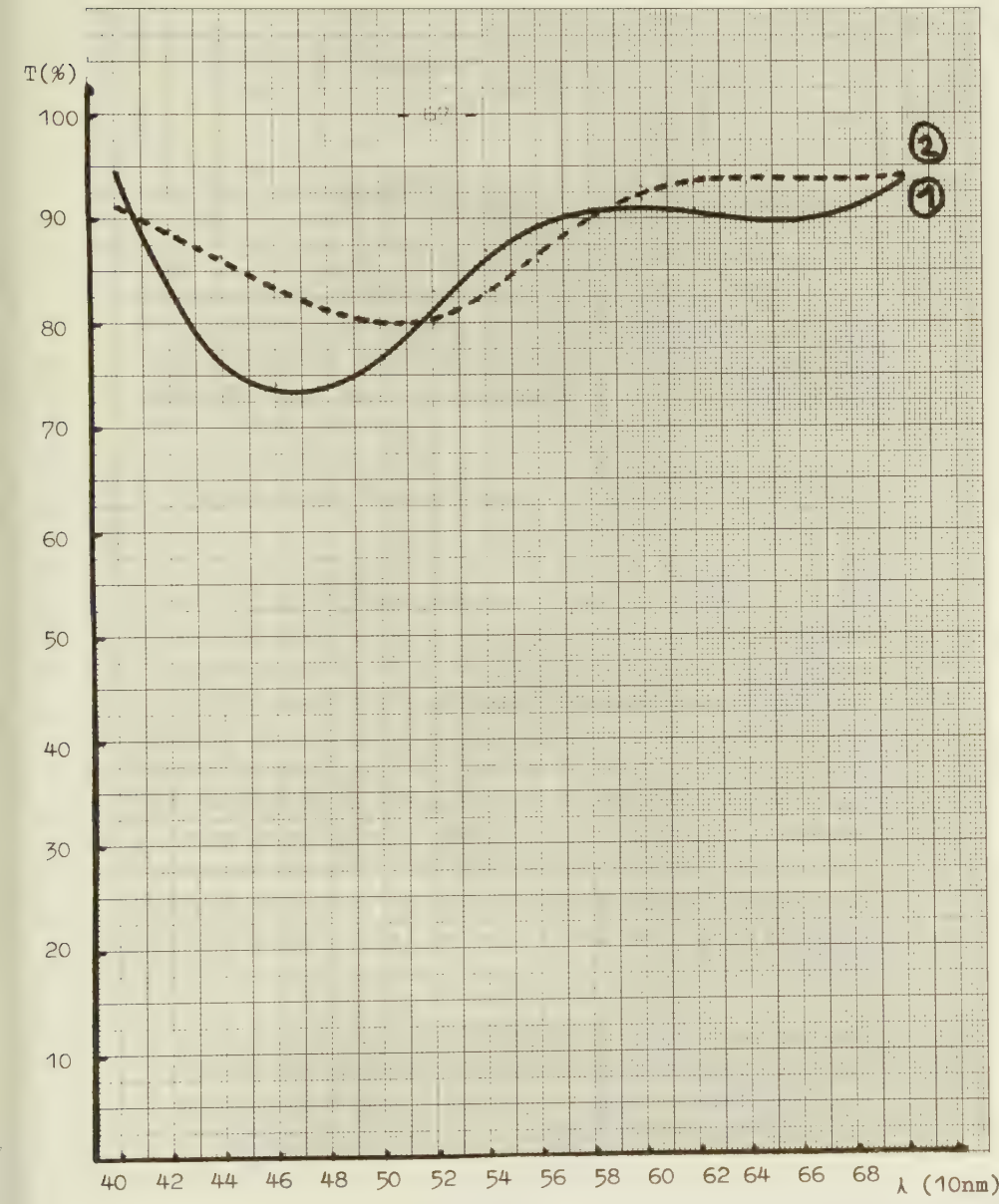


Abb.19 (Versuch 2.3.2.3.)
Schwachgefärbte Fasern
(1) Schurwollfasern (kamelhaarfarbener Damenvelours)
(2) Schurwollfasern (rosa Wolldeckenstoff)

Objektiv 40; Optovar 2;

2.4. Fallbeispiel aus der rechtsmedizinischen Praxis

Bei einem Verkehrsunfall wurde ein PKW-Insasse getötet, der andere überlebte den Unfall. Er gab an, ca. zwei Stunden bewußtlos gewesen zu sein. An das Unfallgeschehen konnte er sich angeblich nicht mehr erinnern.

Es sollte gutachtlich zu der Frage Stellung genommen werden, wer zum Unfallzeitpunkt Fahrer des PKW war.

Bei der Untersuchung des Fahrzeugs wurde unter anderem ein Folienabzug von der Sitzfläche des Fahrsitzes gefertigt und asserviert. Von der Hose des Überlebenden wurde an einer sauberen Stelle ein Folienabzug genommen. Der Folienabzug der Sitzfläche des Fahrersitzes zeigte unter dem Durchlichtmikroskop massenhaft kleine Schmutzpartikel, Blutschüppchen, Pflanzenbestandteile und rote Lackpartikel. Außerdem waren neben grauen und schwarzen Fasern zahlreiche grüne Textilfasern zu erkennen. Der Folienabzug der Hose des Überlebenden wies fast ausschließlich grüne Fasern von homogener Struktur auf, die nach ihrer Art denen des Fahrersitzes entsprachen.

Deshalb wurde eine mikrospektralphotometrische Vermessung der grünen Fasern vom Fahrersitz und von der Hose des Überlebenden vorgenommen. Die Fasern wurden dazu aus den Folienabzügen mit einer Pinzette herauspräpariert und auf Objektträger in Immersionsöl gebettet.

Die Transparenzkurven zeigten gleiche Transparenzminima bei 440 und 640 nm und ein gemeinsames Transparenzmaximum bei 520 nm (Abb. 20). Der Kurvenverlauf aller Fasern war parallel. Die grünen Fasern vom Folienabzug der Hose des Überlebenden und der Sitzfläche des Fahrersitzes waren also mikrospektralphotometrisch nicht unterscheidbar und nach Lage der Dinge somit identisch.

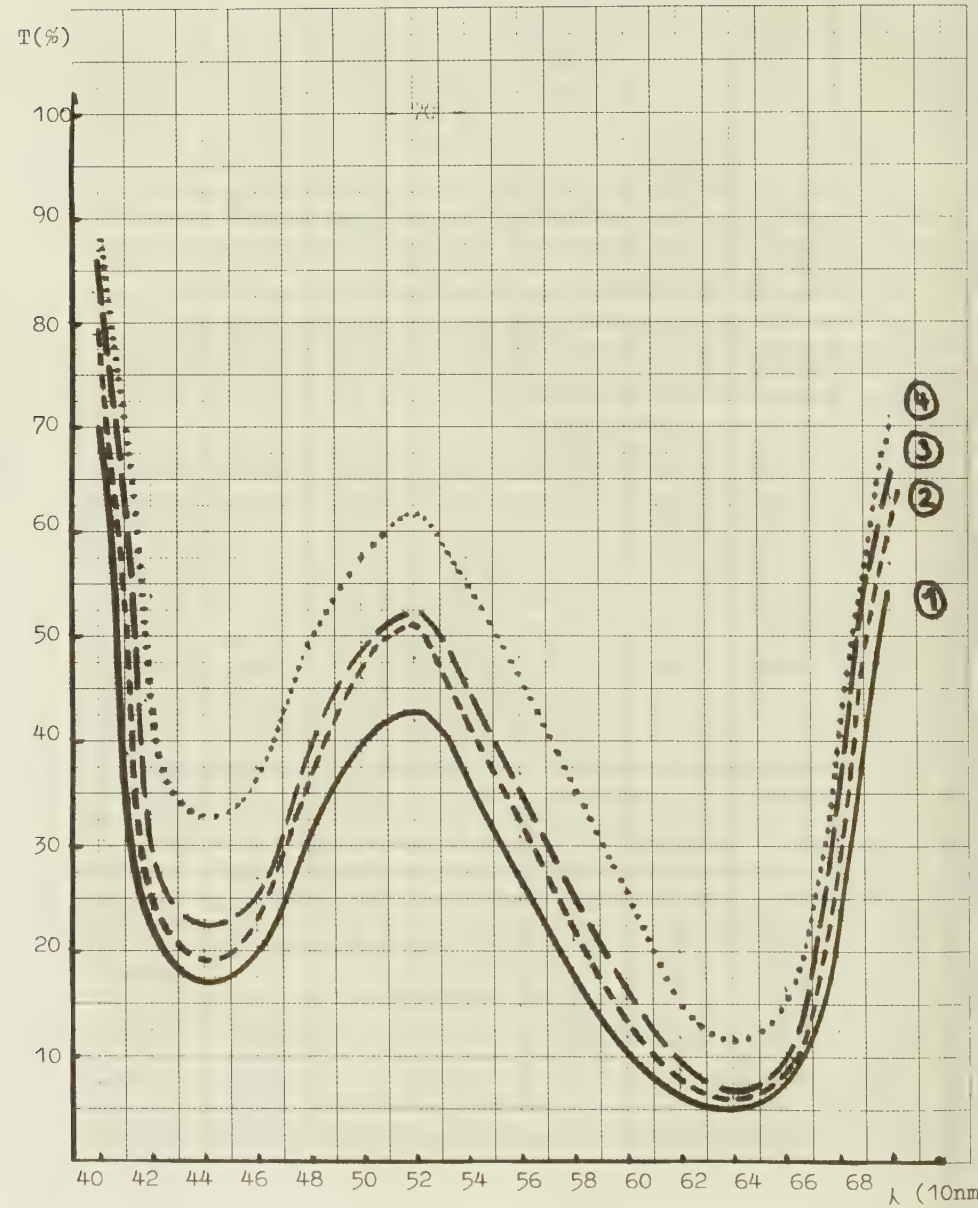


Abb.20 (Versuch 2.4.)
Grüne Fasern von der
(1) Sitzfläche des Fahrersitzes; (2) Hose des Überlebenden;
(3) Hose des Überlebenden; (4) Sitzfläche des Fahrersitzes;

Objektiv 25; Optovar 2;

3. DISKUSSION

Die Mikrospektralphotometrie bietet eine objektive Unterscheidungsmöglichkeit auch kleinster, gefärbter Textilfasern. Metamer eingefärbte Fasern, die den gleichen Farbeindruck hervorrufen, aber in ihren physikalischen Eigenschaften variieren, können unterschieden werden. Die Methode arbeitet, z. B. im Gegensatz zu chemischen Analysen, zerstörungsfrei. Die Beweismittel können für eine Nachprüfung der Befunde erhalten, die Meßresultate in Form von Transparenzkurven dokumentarisch fixiert werden.

Ziel der vorliegenden Arbeit über mikrospektralphotometrische Messungen an Textilfaserspuren im Durchlicht war es,

1. den Meßvorgang am Mikrospektralphotometer des Instituts für Rechtsmedizin der Universität Würzburg für ein routinemäßiges Arbeiten praktisch anwendbar zu gestalten,

2. durch Standardisierung der Meßbedingungen und -methoden die Reproduzierbarkeit der Messungen zu erhöhen,

3. anhand von Transparenzkurven identisch eingefärbter, verschiedener Faserarten den Einfluß von Faserart

oder unterschiedlicher chemischer Verbindung zwischen Faser und Farbstoff auf den Kurvenverlauf zu untersuchen,

4. die Grenzen der Mikrospektralphotometrie an schwarzen, grauen und schwach- oder ungefärbten Fasern darzulegen,

5. die Ergebnisse anderer Autoren mit unseren experimentellen Resultaten zu vergleichen.

Die wichtigsten Ergebnisse der eigenen Experimente und der Literatur seien anschließend zusammenfassend diskutiert:

Gemäß den Untersuchungen von HALONBRENNER und MEIER (1973) erstellten wir bei unseren mikrospektralphotometrischen Messungen Transparenzkurven. Eine Umrechnung auf Extinktionskurven, mit denen andere Autoren arbeiten (BRÜCK und RÖHM, 1975), ergab bei unserer Fragestellung keine neuen Aspekte, da es bei der Beurteilung von Vergleichsmessungen im wesentlichen nur auf die Lage der Transparenzminima und -maxima und die Parallelität der Spektralkurven ankam. Die absolute Farbstoffkonzentration ließ sich nicht bestimmen, da der Extinktionskoeffizient des Faserfarbstoffs meist nicht bekannt ist. Farbstoffkonzentrationsunterschiede bei Fasern, die mit dem gleichen Farbstoff eingefärbt waren, führten deshalb so-

wohl bei Transparenzkurven wie auch bei Extinktionskurven zu Deckungsungleichheit. Durch Messungen an mehreren Einzelfasern des Vergleichsmaterials sollte der Variationsbereich erfaßt werden, die Transparenzkurven der am Tatort sichergestellten Fasern müssen innerhalb dieses Variationsbereiches liegen (MARTIN, 1973). Aus Gründen der Beweiskraft ist nach HALON-BRUNNER (1976) besonders bei ungleichmäßig gefärbten Naturfasern eine Bestimmung des Variationsbereiches nötig. Die große Zahl von Vergleichsfasermessungen erfordert eine quantitativ großzügige Spurensicherung (FREI - SULZER, 1958).

SUCHENWIRTH und BRÜCK (1968) forderten, daß eine Lampenstromänderung und damit eine Änderung der Intensitätsverteilung des ausgesandten Lichtspektrums während der Messung vermieden werden sollte. Tatsächlich verfälscht eine zwischen einem Wechsel von Leerstelle auf Objektstelle vorgenommene Änderung der spektralen Strahlungsverteilung das Verhältnis I/I_0. Für die Messung von zu vergleichenden Fasern kann je nach der Faserbeschaffenheit ein anderer Lampenstrom gewählt werden, der jedoch während der einzelnen Messungen konstant gehalten werden sollte.

Bei Erstellung von Transparenzkurven gleicher Fasern unter Verwendung verschiedener Objektive ergab sich, daß die Transparenzminima und -maxima zwar bei den gleichen Wellenlängen lagen, die Kurven aber bezüglich der Transparenz gestaucht oder gestreckt wurden. Der besseren Reproduzierbarkeit halber sollte deshalb für die Messung von am Tatort sichergestellter und

Vergleichsfaser das gleiche Objektiv gewählt werden, wobei das Objektiv mit der Maßstabszahl 25 oder das auch von SUCHENWIRTH und BRÜCK (1968) und BRÜCK und RÖHM (1975) verwendete Objektiv mit der Maßstabszahl 40 zu empfehlen sind.

Je größer die Leuchtfeldblendenabbildung gewählt wird, umso größer wird der Streulichtanteil, was sich besonders bei Fasern mit hohen Absorptionswerten negativ auswirkt (BRÜCK und RÖHM, 1975). Daraus ergab sich die Notwendigkeit, die Größe der Leuchtfeldblende der besseren Reproduzierbarkeit wegen zu standardisieren. SUCHENWIRTH und BRÜCK (1968) und BRÜCK und RÖHM (1975) hielten die Leuchtfeldblendenabbildung so klein, daß nur ein Feld beleuchtet wurde, das etwas größer als das Meßfeld war. Bei unseren Messungen erwies es sich dagegen als günstig, die Abbildung der runden Leuchtfeldblende so groß zu wählen, daß ein Feld beleuchtet war, das das rechteckige Meßfeld gerade einschloß. Dabei wurde der Streulichtanteil klein gehalten und beim Wechsel von Leerstelle auf Objektstelle konnte im Binokular die richtige Lage der Faser überprüft werden. Beugungserscheinungen zwischen Blenden- und Faserkante (SUCHENWIRTH und BRÜCK, 1968) wurden bei dieser Leuchtfeldblendenwahl nicht beobachtet.

In der Längsrichtung einer Faser ergeben sich wegen inhomogener Einfärbung unterschiedliche Absorptionswerte. Deshalb war es wichtig, ein relativ großes Areal auszumessen, um diese Inhomogenitäten möglichst auszugleichen (SUCHENWIRTH und BRÜCK, 1968; HALONBRENNER und MEIER, 1973; BRÜCK und RÖHM, 1975). Am

Rand von Fasern nimmt die Absorption zu. Die schon mikroskopisch dunkler erscheinenden Ränder mußten daher von der Meßblende ausgespart werden. Diese Forderungen erfüllte am besten eine kontinuierlich verstellbare Rechteckmeßblende. Sie ließ sich der Geometrie einer gestreckten Faser besser anpassen als eine Lochblende.

Mit abnehmender Beleuchtungsapertur (Apertur des Kondensors) steigt die Absorption von Fasern (BRÜCK und RÖHM, 1975). Aus diesem Grund und um die Störung durch Streulicht durch scharfe Abbildung der Leuchtfeldblende in der Objektebene zu reduzieren, verwendeten wir einen Objektivkondensor mit feststehender Apertur.

Die Tubusschieberstellung, bei der im Einstellokular die Meßstelle, im Binokulartubus die Leuchtfeldblendenabbildung und die in ihrem Bereich liegende Faser und deren Umgebung betrachtet werden kann (Stellung am roten Ring), erwies sich für den Meßvorgang als vorteilhafter als die Tubusschieberstellung, bei der alles Licht zur Messung senkrecht nach oben in den Photometeraufsatz gelangt (blanker Ring). Hier kann nur die Meßstelle im Einstellokular gesehen werden, kein Licht geht dagegen in den Binokulartubus. Bei der Tubusschieberstellung am roten Ring kann während der Messung im Binokulartubus die Lage der Faser zur Leuchtfeldblendenabbildung beobachtet werden, um dadurch immer die gleiche Objektstelle nach dem Wechsel von Leer- zu Objektstelle wiederzufinden.

Durch die chromatische Fokusdifferenz von Linsenobjektiven, die beim Wellenlängenwechsel eine Änderung der Lage der Leuchtfeldblendenabbildung und der gerade beobachteten Ebene innerhalb des Objektes verursacht, entsteht ein Meßfehler (SUCHENWIRTH und BRÜCK, 1968). Dieser war jedoch bei vergleichenden Untersuchungen reproduzierbar. Er konnte als systematischer Fehler vernachlässigt werden (BRÜCK und RÖHM, 1975). Eine einmalig vorgenommene Scharfstellung von Leuchtfeldblendenabbildung und Objekt durfte also während der Messung bestehen bleiben (SUCHENWIRTH und BRÜCK, 1968; BRÜCK und RÖHM, 1975). Die Wanderung der Fokussierungsebenen im Objekt bei Wechsel der Wellenlänge war bei unseren Versuchen so gering, daß sie kaum wahrgenommen werden konnte. Außerdem ergab sich bei den verschiedenen Wellenlängen eine reproduzierbare Wanderung der Fokussierungsebenen im Objekt, da wir zur Messung von Vergleichs- und sichergestellter Faser immer das gleiche Objektiv und den gleichen Objektivkondensor verwendeten und am Anfang der Messung bei den Fasern auf die gleiche Fokussierungsebene scharfstellten. Eine Scharfstellung auf die gleiche Ebene bei jeder neuen Wellenlänge wäre bei uns nicht möglich gewesen, da die Lichtintensität hierfür im kurzwelligen Spektralbereich nicht ausgereicht hätte.

Mißt man bei der gleichen Wellenlänge in verschiedenen Fokussierungsebenen einer Faser, so ergeben sich Transparenzunterschiede, je nachdem ob man auf die Fasermitte oder die Ober- und Unterseite der Faser scharfstellt (SUCHENWIRTH und BRÜCK, 1968;

BRÜCK und RÖHM, 1975). Die Fokussierungsebene mußte also aus Gründen der besseren Reproduzierbarkeit standardisiert werden. Wir empfehlen, zu Beginn aller Messungen auf die Ebene scharfzustellen, bei der die Faser homogen und ihre Ränder unscharf erscheinen. Hier wirkte sich eine leichte Verschiebung der Fokussierungsebene nicht so gravierend auf den Meßwert aus wie bei Fokussierung auf eine andere Ebene.

Der Wechsel zwischen Leerstelle und Faser bei jeder Wellenlänge kann durch Tischverschiebung oder mittels Point-Counter-Objekttisch erfolgen, wobei durch Objektverschiebung mit Hilfe eines einrastenden Drehknopfes immer wieder die gleiche Objekt- und Leerstelle eingestellt wird. Der Point-Counter-Objekttisch gewährte eine bessere Reproduzierbarkeit, Handhabung und nicht zuletzt Zeitersparnis.

Es existieren zwei Meßmethoden, die mit einem Einstrahl-Photometer die Erstellung von Transparenzkurven ermöglichen. AMSLER (1959) wählte die Meßmethode (Meßmethode A), bei der in einer Leerstelle bei jeder Wellenlänge die Intensität I_o gemessen wird. Zur Messung der Intensität I wird für jede interessierende Wellenlänge in einer Objektstelle dieser Vorgang wiederholt. Durch Division von I durch I_o und Multiplikation mit 100 bei jeder Wellenlänge wird die Transparenzkurve errechnet. SUCHENWIRTH und BRÜCK (1968) bevorzugten die Meßmethode (Meßmethode B), bei der zuerst durch Messung in der Leerstelle für eine Wellenlänge am Schreiber der I_o-Wert auf den Wert 100

(T % = 100 %) eingestellt wird. Bei Messung im Objekt wird dann die Transparenz der Faser in Prozent direkt am Schreiber markiert. Die Verbindung der einzelnen Transparenzwerte in Prozent für jede Wellenlänge ergibt die Transparenzkurve der Faser. Einziger Nachteil der Meßmethode B gegenüber der Meßmethode A war der ständige Wechsel zwischen Leerstelle und Faser bei jeder Wellenlänge. Durch günstige Wahl der Meßbedingungen konnte er jedoch auf ein Minimum reduziert werden. So wurde eine Veränderung der Meßorte und damit eine Änderung der Transparenzwerte durch Verwendung des Point-Counter-Objekttisches weitgehend verhindert. Die runde Leuchtfeldblende, deren Abbildung den kurzen Seiten des rechteckigen Meßfeldes anlag, ermöglichte außerdem bei der Tubusschieberstellung am roten Ring eine laufende Kontrolle der Lage der Faser zur Leuchtfeldblendenabbildung durch den Binokulartubus. Die Integration über ein größeres Faserareal bei weiter Öffnung der Meßblende in Längsrichtung verhinderte, daß sich eine geringe Verschiebung des Meßortes durch Fehler in der Rückstellgenauigkeit des Point-Counter-Objekttisches so gravierend auf den Transparenzwert auswirkte wie bei Ausmessung eines kleinen Faserareals.

Ein weiteres Problem war die Frage, ob nur die Einfärbung oder ob auch die Faserart und die chemische Verbindung der Farbstoffe mit der jeweiligen Faser Einfluß auf den Verlauf von Transparenzkurven haben. HALONBRENNER (1976) fand bei der Vermessung von gleich eingefärbten Polyester- und Schurwollfasern im sichtbaren Wellenlängenbereich einen weitgehend ähnlichen

Kurvenverlauf, während die Kurven im UV-Bereich dagegen einen Unterschied zeigten. Er schloß daraus, daß dieser durch das Fasersubstrat hervorgerufen wurde. Wir erstellten zur Beantwortung dieser Frage Transparenzkurven von verschiedenen Faserarten, die identisch eingefärbt wurden. Alle identisch eingefärbten Fasern wiesen einen annähernd parallelen Kurvenverlauf auf. Transparenzunterschiede wurden von schon makroskopisch feststellbaren Differenzen in der Farbintensität hervorgerufen. Trotz der gleichen Färbung konnten die Faserarten verschiedene Farbnuancen zeigen. Sie variierten dann auch im Spektralbereich von 400 - 700 nm in ihren Transparenzminima und -maxima. Es ist aber wahrscheinlich, daß die Unterschiedlichkeit der Kurvenverläufe im spektralen UV-Bereich deutlicher zum Vorschein kommt.

Für schwarze Fasern forderte FREI - SULZER (1963) eine chemische Analyse der Faserfarbstoffe. Eine nur optische Prüfung versagte hier. BRÜCK und RÖHM (1975) vertraten die Ansicht, daß schwarz gefärbte Fasern gut differenzierte Spektren ergäben, da auch sie in bestimmten Spektralbereichen lichtdurchlässig würden. Näher mit dem Seltenheitswert des Spektrums einer schwarzen Schurwollfaser befaßten sich HALONBRENNER und MEIER (1973). Alle Meßkurven hatten ein Transparenzminimum von 580 nm, Unterschiede lagen nur bei Wellenlängen kleiner als 450 nm. Für MARTIN (1973) sind schwarze Wollfaserfragmente nur dann Indizien, wenn das in Frage stehende Kleidungsstück keine Reißwolle enthält und eine außergewöhnlich seltene Einfärbungsmethode zur Anwendung gelangt ist, was bei

Schwarzfärbung kaum zutreffe. Bei der Vermessung von Fasern von neun schwarzen Geweben kamen wir zu dem Ergebnis, daß schwarze Fasern im Wellenlängenbereich von 400 - 700 nm zum Teil differenzierte Spektralkurven lieferten. Unabhängig von der Faserart wiesen sie jedoch einen parallelen bis nahezu identischen Kurvenverlauf auf. So lag das Transparenzminimum von Fasern von vier schwarzen Geweben bei 580 nm und von Fasern von fünf anderen schwarzen Geweben bei 620 nm. Der Beweiswert von schwarzen Fasern ist also mikrospektralphotometrisch nur gering zu veranschlagen.

Graue Fasern sind weit verbreitet. Nach BRÜCK und RÖHM (1975) sind auch bei Grautönen reproduzierbare Messungen möglich. Nur bei hellgrauen Fasern erhielten sie irrelevante Banden ohne Zuordnung zum Farbstoff. Graue Fasern ergaben bei unseren Messungen wieder gut reproduzierbare Kurvenverläufe, die jedoch annähernd parallel waren. Außerdem fiel die Parallelität zu denen der schwarzen Fasern auf. Nur Fasern, die mikroskopisch unterschiedliche Farbnuancen aufwiesen, versprachen differierende Spektralkurven. Ab einer bestimmten Transparenz zeigten Kurven grauer Fasern nur noch zufällige Schwankungen um einen Mittelwert ohne Extrema.

Schwachgefärbte Fasern, die dem menschlichen Auge kaum mehr einen eindeutigen Farbeindruck vermitteln, können nach BRÜCK und RÖHM (1975) noch recht ausgeprägte Spektren liefern. Auch wir erhielten gut reproduzierbare Spektralkurven von Fasern, die mikro-

skopisch dem Auge farblos erschienen. Allerdings konnten Fasern von Geweben, die im Gewebsverband gut auszumachende Färbungen aufwiesen, aber mikroskopisch ebenfalls wie ungefärbte Fasern aussahen, auch uncharakteristische Spektren hoher Transparenz ohne ausgeprägte Maxima und Minima zeigen. Solche Spektren erhielten wir auch von ungefärbten Fasern. Eine schon mikroskopische Bewertung, ob schwachgefärbte Fasern reproduzierbare Kurven liefern oder nicht, ist von vorneherein nicht möglich.

4. ZUSAMMENFASSUNG

Nach Beschreibung unseres Instrumentariums, des Mikroskop-Photometers 01 der Firma Carl Zeiss und Erarbeitung der physikalischen Grundlagen der Mikrospektralphotometrie werden Meßmethoden und -bedingungen erarbeitet und mit den Ergebnissen früherer Autoren verglichen. Außerdem befaßt sich die vorliegende Arbeit mit der Problematik gleich eingefärbter aber unterschiedlicher Fasersorten und mit der Bedeutung schwarzer, grauer, schwach- und ungefärbter Fasern für die Mikrospektralphotometrie.

Die experimentellen Ergebnisse unserer Arbeit zu diesem Themenkreis waren folgende:

1. Eine Lampenstromänderung und damit eine Änderung der spektralen Strahlenverteilung muß während der Messung vermieden werden.
2. Für die Messung von am Tatort sichergestellter und Vergleichsfaser sollte das gleiche Objektiv verwendet werden, wobei Objektiv 25 oder 40 zu empfehlen sind.
3. Hohe Reproduzierbarkeit gewährleistet eine runde Leuchtfeldblende, deren Abbildung so groß zu wählen ist, daß ein Feld beleuchtet wird, das das rechteckige Meßfeld gerade einschließt.
4. Eine kontinuierlich verstellbare Rechteckmeßblende erlaubt, ein relativ großes Faserareal auszumessen. Zum Ausgleich von Inhomogenitäten der Faserfärbung ist sie deshalb vorteilhafter als eine Lochblende.

5. Ein Objektivkondensor mit feststehender Apertur verhindert eine scheinbare Änderung der Absorption von Fasern.
6. Die Tubusschieberstellung, bei der im Einstellokular die Meßstelle, im Binokulartubus die Leuchtfeldblendenabbildung beurteilt werden kann, ist für die Kontrolle des Wechsels von Leer- auf Objektstelle vorteilhaft.
7. Bei gleichbleibender Fokussierung auf die einmal zu Beginn einer Messung eingestellte Ebene läßt sich die chromatische Fokusdifferenz von Linsenobjektiven als reproduzierbarer Meßfehler vernachlässigen.
8. Es empfiehlt sich, auf der Ebene zu fokussieren, bei der die Faser homogen und ihre Ränder unscharf erscheinen.
9. Der Point-Counter-Objekttisch gewährt beim Wechsel zwischen Leerstelle und Faser bei jeder Wellenlänge eine bessere Reproduzierbarkeit, leichtere Handhabung und nicht unerhebliche Zeitersparnis.
10. Wir bevorzugen für unsere Zwecke die Meßmethode, bei der zuerst durch Messung in der Leerstelle für eine Wellenlänge am Schreiber mit Hilfe des Meßverstärkers der I_0-Wert auf den Wert 100 % eingestellt wird. Bei Messung im Objekt wird dann die Transparenz der Faser in Prozent direkt am Schreiber markiert.
11. Identisch eingefärbte, verschiedene Fasersorten zeigen in ihren Kurvenverläufen nicht nur Transparenzunterschiede, sie können auch in der Lage ihrer Transparenzminima und -maxima im Spektralbereich von 400 - 700 nm variieren.

12. Transparenzkurven schwarzer und grauer Fasern verschiedener Gewebe besitzen wegen des oft parallelen Kurvenverlaufs und der oft gleichen Transparenzmaxima und -minima im Spektralbereich von 400 - 700 nm kaum Beweiswert.
13. Schwachgefärbte Fasern können oft noch ausgeprägte Spektralkurven liefern, auch wenn mikroskopisch kein Farbton mehr auszumachen ist. Andere schwachgefärbte, hellgraue und ungefärbte Fasern sind dagegen wegen minimaler Transparenzunterschiede zwischen den Wellenlängen und fehlender charakteristischer Extrema mikrospektralphotometrisch nicht bewertbar.

Die gewonnenen Erkenntnisse aus den Experimenten wurden anhand eines Falles aus der rechtsmedizinischen Praxis auf ihre praktische Anwendbarkeit und Reproduzierbarkeit hin überprüft. Noch einmal wurde hierbei die Bedeutung der Mikrospektralphotometrie für den Beweiswert von Textilfaserspuren deutlich:

1. Möglichkeit des objektiven Faservergleichs auch an kleinsten Textilfaserspuren.
2. Zerstörungsfreie Analyse des spektralen Kurvenverlaufs gefärbter Fasern.
3. Dokumentarische Fixierung der Untersuchungsergebnisse in Form von Transparenzkurven.
4. Nachprüfbarkeit der Ergebnisse (folgt aus 2. und 3.).

5. LITERATURVERZEICHNIS

1. ADEBAHR, L.: Kleine Textilkunde. Verlag Handwerk und Technik GmbH von Dr. Felix Büchner (1963).

2. AMSLER, H.: Die Mikrospektralphotometrie, ein wichtiges Hilfsmittel für den Farbvergleich kleinster corpora delicti. Arch. Kriminol. 124, 85 - 94 (1959).

3. BERG, S.: Untersuchungen zum Beweiswert von Textilfaser-Mikrospuren. Arch. Kriminol. 127, 97 - 106 (1961).

4. BRÜCK, H.-J., RÖHM, E.: Mikrospektralphotometrische Absorptionsmessungen an Textilfaserspuren. In: Freund, H.: Handbuch der Mikroskopie in der Technik, Band VII. Umschau Verlag, Frankfurt am Main (1975).

5. FREI-SULZER, M.: Die Sicherung von Mikrospuren mit Klebband. Kriminalistik 5, 190 - 194 (1951).

6. FREI-SULZER, M.: Indizienbeweise durch Textilfaserspuren. Kriminalwissenschaft 8, 5 - 8 (1954).

7. FREI-SULZER, M.: Die Beschaffung des Vergleichsmaterials für kriminaltechnische Gutachten. Kriminalistik 12, 98 - 101 (1958).

8. FREI-SULZER, M.: Der Beweiswert von Kleiderspuren. Kriminalistik 14, 521 - 524 (1960).

9. FREI-SULZER, M.: Die Methoden des Faservergleichs in der Kriminalistik. Kriminalistik 17, 197 - 200 (1963).

10. FREI-SULZER, M., JOTTI, A.: Vor- und Nachteile der Spurensicherung mit Klebband. Kriminalistik 20, 385 - 387 (1966).

11. FREI-SULZER, M.: Wie lange bleibt die Beweiskraft von Mikrospuren erhalten? Kriminalistik 25, 113 - 114 (1971).

12. GRÜNSTEIDL, E.: Mikroskopie von Pflanzenfasern. In: Freund, H.: Handbuch der Mikroskopie in der Technik, Band VI, Teil 2. Umschau Verlag, Frankfurt am Main (1972).

13. HAASE, G.: Physik für Mediziner. Akademische Verlagsgesellschaft, Frankfurt am Main (1968).

14. HALONBRENNER, R., MEIER, J.: Mikrospektralphotometrische Untersuchungen an Textilfasern. Kriminalistik 8, 344 - 350 (1973).

15. HALONBRENNER, R.: Mikrospektralphotometrische Untersuchungen an Textilfasern. Arch. Kriminol. 157, 93 - 106 (1976).

16. HECHT, E.: Welches Gewebe ist das? 2. Auflage, Stuttgart, Frank'sche Verlagshandlung (1961).

17. MARTIN, E. P.: Verhalten von gefärbten Textilfasern in Anwesenheit des Klebstoffes transparenter Klebbänder. Intern. krim. pol. Revue (Ref. in: Kriminalistik 19, 391 (1965)).

18. MARTIN, E.P.: Zur Frage des Beweiswertes von Wollfaserspuren im Strafprozeß. Arch. Kriminol. 152, 172 - 184 (1973).

19. MARTIN, E.P.: Zur Bedeutung spektrographischer Untersuchungsmethoden im Strafprozeß Arch. Kriminol. 155, 91 - 102 (1975).

20. REUMUTH, H.: Die Mikroskopie der Wolle und tierischen Haare. In: Freund, H.: Handbuch der Mikroskopie in der Technik, Band VI, Teil 2. Umschau Verlag, Frankfurt am Main (1972).

21. RICK, W.: Klinische Chemie und Mikroskopie. Springer Verlag, Berlin, Heidelberg, New York (1974).

22. SCHAIDT, G.: Asservierung von Klebbandfolien auf Neobondpapier. Arch. Kriminol. 145, 184 (1970).

23. STRATMANN, M.: Die Struktur der Chemiefasern. Erkennungs- und Unterscheidungsmöglichkeiten. In: Freund, H.: Handbuch der Mikroskopie in der Technik, Band VI, Teil 2. Umschau Verlag, Frankfurt am Main (1972).

24. SUCHENWIRTH, H., BRÜCK, H.-J.: Über den Aussagewert von mikrospektralphotometrischen Messungen an Textilfaserspuren. Arch. Kriminol. 142, 16 - 25, 111 - 120 (1968).

Mein besonderer Dank gilt Herrn Professor
Dr. W. Schwerd für die Überlassung des Themas,
die Arbeitsmöglichkeiten an seinem Institut
und die Durchsicht der Arbeit.

Herrn Professor Dr. E. Schulz danke ich herzlich
für die Übernahme des Koreferats.

Für ihre tatkräftige Unterstützung meiner Arbeit
bin ich den Herren Drs. W. Hager und D. Metter
zu großem Dank verpflichtet.

Nicht zuletzt gilt mein Dank Herrn Reinelt für
dessen Hilfe bei der Überwindung technischer
Probleme.

Christian Hoffmann

LEBENSLAUF

Am 14. 6. 1953 wurde ich, Christian Hoffmann, als zweites Kind des Landgerichtsarztes Dr. Werner Hoffmann und der Zahnärztin Dr. Ilse Hoffmann, geb. Möschl, in Neustadt a. d. Waldnaab geboren.

Von 1959 bis 1963 besuchte ich die Volksschule in Bayreuth, anschließend das Gymnasium Christian - Ernestinum, wo ich 1972 das Abitur ablegte.

Seit dem Wintersemester 1972/73 studiere ich Medizin an der Julius-Maximilians-Universität Würzburg, wo ich im März 1975 die Ärztliche Vorprüfung, im März 1976 die 1. Ärztliche Prüfung, im März 1978 die 2. Ärztliche Prüfung absolvierte.

Im Praktischen Jahr 1978/79 arbeitete ich am Lehrkrankenhaus Coburg, Abteilung Innere Medizin und Chirurgie und an der Neurologischen Universitätsklinik Würzburg.

Im April/Mai 1979 legte ich den schriftlichen und mündlichen Teil der 3. Ärztlichen Prüfung (Staatsexamen) ab.

Seit September 1979 leiste ich meinen Wehrdienst als Stabsarzt bei der Bundeswehr ab.

Bayreuth, Februar 1980

Christian Hoffmann

Dissertationsdruck
Schmitt & Meyer

Würzburg Ludwigkai 28a Tel. 7 23 80

Dissertationsdruck
Schmitt & Meyer

Würzburg Ludwigkai 28a Tel. 7 23 80